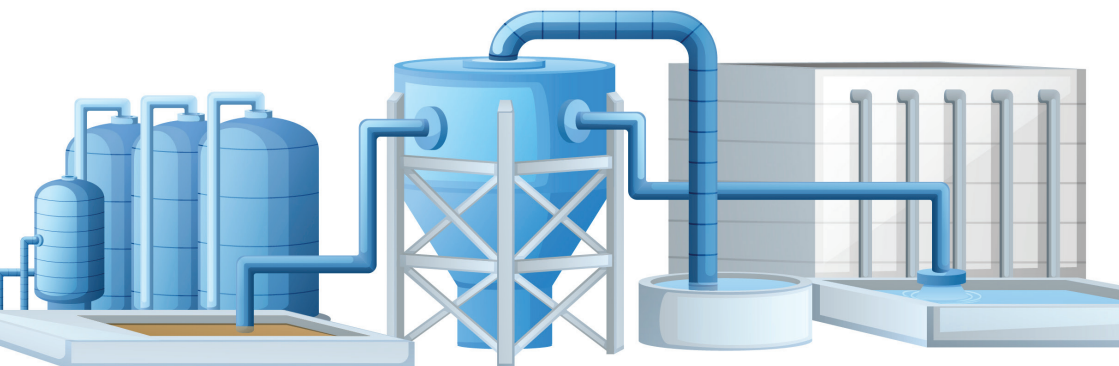


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет

А.В. Щипанов, А.В. Думбаускене

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУШНЫХ ВЫБРОСОВ И СТОЧНЫХ ВОД

Электронное
учебно-методическое пособие



© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2023

ISBN 978-5-8259-1318-6

УДК 574:502

ББК 38.76

Рецензенты:

начальник отдела охраны окружающей среды
ООО «Тольяттикаучук» *И.П. Давыдова*;
канд. техн. наук, доцент Тольяттинского
государственного университета *И.И. Рашоян*.

Щипанов, А.В. Оборудование для очистки воздушных выбросов и сточных вод : электронное учебно-методическое пособие / А.В. Щипанов, А.В. Думбаускене. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2023. – 1 оптический диск. – ISBN 978-5-8259-1318-6.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов направления подготовки бакалавров 20.03.01 «Техносферная безопасность», профиль «Экоаналитика и экозащита», очной формы обучения.

Пособие содержит методические рекомендации и практические задания для изучения дисциплины «Оборудование для очистки воздушных выбросов и сточных вод».

Информация по нормативным правовым документам и электронным ресурсам приведена по состоянию на 01.04.2020 г.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8/10; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© Щипанов А.В., Думбаускене А.В., 2023

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2023

Редактор *Т.М. Воропанова*
Технический редактор *Н.П. Крюкова*
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
Художественное оформление,
компьютерное проектирование:
И.И. Шишкина

В оформлении пособия использовано
изображение от macrovector
на сайте ru.freepik.com

Дата подписания к использованию 10.01.2023.

Объем издания 6,8 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск,
первичная упаковка.

Заказ № 1-44-21.

Издательство Тольяттинского
государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 44-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	6
СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО КУРСА	8
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ	9
КРИТЕРИИ И НОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ	12
Модуль 1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУШНЫХ ВЫБРОСОВ	13
Тема 1. Системы и методы очистки воздушных выбросов	13
Практическое задание 1. Определение пылеулавливающего оборудования по методам и способам очистки воздуха от вредных выбросов	13
Тема 2. Методы очистки воздушных вредных выбросов от пылей	27
Практическое задание 2. Характеристика оборудования для очистки вредных выбросов от пылей	27
Тема 3. Методы очистки воздушных вредных выбросов от газопарообразных примесей	58
Практическое задание 3. Характеристика оборудования для очистки вредных выбросов от газопарообразных примесей	58
Тема 4. Методы очистки воздушных вредных выбросов от туманов	86
Практическое задание 4. Характеристика оборудования для очистки вредных выбросов от туманов	86
Практическое задание 5. Расчет циклона для очистки атмосферного воздуха	102
Модуль 2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	108
Тема 5. Характеристика сточных вод приоритетных производственных комплексов	108
Практическое задание 6. Выбор перспективных технологий в области очистки сточных вод	108

Тема 6. Механические методы очистки сточных вод	125
Практическое задание 7. Очистка промышленных сточных вод от нефтепродуктов, минеральных масел и жиров	125
Тема 7. Физико-химические методы очистки сточных вод	133
Практическое задание 8. Удаление из сточных вод взвешенных веществ	133
Тема 8. Наилучшие доступные технологии в области очистки сточных вод	145
Практическое задание 9. Выбор наилучших доступных технологий очистки промышленных сточных вод, относящихся к приоритетным областям их применения	145
ВОПРОСЫ ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ	167
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	169
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	170
ГЛОССАРИЙ	171

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие предназначено для использования при изучении дисциплины «Оборудование для очистки воздушных выбросов и сточных вод».

Дисциплина изучает назначение, устройство и принципы работы оборудования для очистки воздушных выбросов и сточных вод.

В курсе для обучающихся предлагаются к рассмотрению:

- системы и методы очистки воздушных выбросов;
- методы очистки воздушных вредных выбросов от пылей (сухие, мокрые пылеуловители, электрофильтры, фильтры);
- методы очистки воздушных вредных выбросов от газопарообразных примесей (абсорбционные, адсорбционные, хемосорбционные, термические, каталитические);
- методы очистки воздушных вредных выбросов от туманов;
- характеристика сточных вод приоритетных производственных комплексов;
- механические методы очистки сточных вод (флотация, использование мембранной технологии);
- физико-химические методы очистки сточных вод (аэрация, флотация, сорбция, центрифугирование, ионообменная и электрохимическая очистка, гиперфльтрация, нейтрализация, экстракция, эвапорация, выпаривание, испарение и кристаллизация);
- биологические методы очистки сточных вод (аэротенки, биофильтры, метантенки).

Цель дисциплины – сформировать у будущих бакалавров знания и навыки применения оборудования для очистки воздушных выбросов и сточных вод.

Задачи

1. Дать сведения об основных видах оборудования для очистки воздушных выбросов и сточных вод.
2. Сформировать у студентов навыки применения оборудования для очистки воздушных выбросов и сточных вод.

Данная дисциплина относится к дисциплинам по выбору.

Дисциплины, учебные курсы, на освоении которых базируется данная дисциплина, – «Экология», «Химия».

Дисциплины, учебные курсы, для которых необходимы знания, умения, навыки, приобретаемые в результате изучения данной дис-

циплины, – «Природоохранная деятельность по снижению загрязнения водной среды», «Природоохранная деятельность по снижению загрязнения воздушной среды».

Знания, умения, навыки, приобретаемые в результате изучения данной дисциплины, необходимы для формирования основных профессиональных компетенций выпускника, а именно:

- способность принимать участие в установке (монтаже), эксплуатации средств защиты (ПК-6);
- способность организовывать и проводить техническое обслуживание, ремонт, консервацию и хранение средств защиты, контролировать состояние используемых средств защиты, принимать решения по замене (регенерации) средства защиты (ПК-7).

В результате изучения дисциплины студент должен

знать:

- основные виды оборудования для очистки воздушных выбросов и сточных вод, средства защиты;
- основные принципы и приемы технического обслуживания, ремонта, консервации и хранения средств защиты, контроля состояния используемых средств защиты, приема решений по замене (регенерации) средства защиты.

уметь осуществлять:

- выбор и эксплуатацию оборудования и средств защиты;
- техническое обслуживание, ремонт, консервацию и хранение средств защиты, контроль состояния используемых средств защиты, прием решений по замене (регенерации) средства защиты;

владеть навыками:

- применения оборудования для очистки воздушных выбросов и сточных вод оборудования и средств защиты;
- организации технического обслуживания, ремонта, консервации и хранения средств защиты, контроля состояния используемых средств защиты, приема решений по замене (регенерации) средства защиты.

Результаты изучения дисциплины закрепляются и проверяются при выполнении практических работ и при сдаче зачета в соответствии с представленными в пособии критериями текущего контроля и промежуточной аттестации.

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО КУРСА

Модуль	Тема
Модуль 1 Оборудование для очистки воздушных выбросов	Тема 1. Системы и методы очистки воздушных выбросов
	Тема 2. Методы очистки воздушных вредных выбросов от пылей (сухие, мокрые пылеуловители, электрофильтры, фильтры)
	Тема 3. Методы очистки воздушных вредных выбросов от газопарообразных примесей (абсорбционные, адсорбционные, хемосорбционные, термические, каталитические)
	Тема 4. Методы очистки воздушных вредных выбросов от туманов
Модуль 2 Оборудование для очистки сточных вод	Тема 5. Характеристика сточных вод приоритетных производственных комплексов
	Тема 6. Механические методы очистки сточных вод (флотация, использование мембранной технологии)
	Тема 7. Физико-химические методы очистки сточных вод (аэрация, флотация, сорбция, центрифугирование, ионообменная и электрохимическая очистка, гиперфильтрация, нейтрализация, экстракция, эвапорация, выпаривание, испарение и кристаллизация)
	Тема 8. Наилучшие доступные технологии в области очистки сточных вод

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Модуль 1. Оборудование для очистки воздушных выбросов

Цель изучения – получить теоретические знания и практические навыки по выбору и эксплуатации оборудования для очистки воздушных выбросов, принципам очистки газоочистного оборудования от различного вида загрязнений промышленных выбросов.

Задачи

1. Изучить методы очистки воздушных выбросов, основные типы пылеулавливающего оборудования по методам и способам очистки газа.
2. Изучить основные принципы выбора метода и аппаратуры очистки газовых выбросов от твердых частиц и аэрозолей.
3. Получить практические навыки классификации пылеулавливающего оборудования по методам и способам очистки газа от взвешенных частиц.
4. Получить практические навыки расчетов аппаратов по очистке воздуха от пылегазообразных загрязнений.

Изучив данный модуль, студент должен:

- иметь представление о методах очистки воздушных выбросов, типах газоочистного оборудования и принципах его работы;
- иметь представление об основных принципах выбора метода и аппаратуры очистки газовых выбросов от твердых частиц и аэрозолей;
- получить практические навыки расчета циклонов и газовых фильтров.

При освоении модуля необходимо:

- усвоить учебный материал;
- выполнить практические задания 1–5;
- оформить отчет по практическим заданиям.

Вопросы для самоконтроля

1. На какие группы разделяются аппараты, предназначенные для очистки промышленных выбросов от пыли?
2. Какие аппараты применяются для очистки технологических газов от кислот, щелочей, масел и других жидкостей?

3. Какие аппараты осуществляют мокрую очистку промышленных выбросов?
4. Какие методы применяют для очистки промышленных выбросов от газо- и паробразных примесей?
5. Какие реакции происходят на окислительном и восстановительном катализаторах в двухступенчатом каталитическом нейтрализаторе?
6. В каких случаях применяют термическое обезвреживание промышленных выбросов?
7. Назовите основные принципы выбора метода и аппаратуры очистки газовых выбросов от твердых частиц и аэрозолей?
8. На чем основаны биологические (биохимические) методы очистки выбросов?
9. Какие аппараты применяются для грубой, а какие для тонкой очистки промышленных выбросов от пыли?
10. В каких случаях применяют термическое обезвреживание промышленных выбросов?

Модуль 2. Оборудование для очистки сточных вод

Цель изучения — получить теоретические знания и практические навыки по перспективным технологиям и методам очистки сточных вод, оборудованию для очистки сточных вод и принципам его работы.

Задачи

1. Изучить перспективные технологии и методы очистки сточных вод и общую схему очистки сточных вод.
2. Изучить оборудование, применяемое на каждом этапе технологической схемы очистки сточных вод.
3. Получить практические навыки определения наилучших доступных технологий очистки сточных вод, относящихся к приоритетным областям их применения.

Изучив данный модуль, студент должен:

- иметь представление о методах очистки сточных вод и общей схеме очистки сточных вод;
- иметь представление об оборудовании, применяемом на каждом этапе технологической схемы очистки сточных вод (аппараты

механической очистки; аппараты химической очистки; аппараты физико-химической очистки; оборудование биологической очистки);

- получить практические навыки по определению количества загрязняющих веществ в городских и производственных сточных водах;
- получить практические навыки определения наилучших доступных технологий очистки сточных вод, относящихся к приоритетным областям их применения.

При освоении модуля необходимо:

- усвоить учебный материал;
- выполнить практические задания 6–9;
- оформить отчет по практическим заданиям.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные методы очистки сточных вод от загрязнений.
2. На чем основаны методы детоксикации и утилизации вредных веществ сточных вод с использованием электромагнитных полей?
3. Что происходит в результате анаэробного сбраживания при биологической очистке сточных вод?
4. В каком оборудовании происходит осветление сточных вод?
5. Объясните общую схему очистки сточных вод.
6. Какое оборудование включают методы механической очистки сточных вод?
7. Какое оборудование включают физико-химические методы очистки сточных вод?
8. В каких случаях применяются термические методы очистки сточных вод?
9. В каких случаях применяют горизонтальные и радиальные отстойники?
10. В каком случае применяется окисление и восстановление для очистки сточных вод?

КРИТЕРИИ И НОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Формы текущего контроля	Условия допуска	Критерии и нормы оценки
Проверка выполнения практических заданий 1–9	Не предусмотрено	«Зачтено» – практическое задание выполнено грамотно или имеет несущественные замечания. «Не зачтено» – практическое задание не выполнено или имеет грубые ошибки

Форма проведения промежуточной аттестации	Условия допуска	Критерии и нормы оценки	
Зачет в форме отчета по практическим заданиям	Выполнение 100 % практических работ 1–9	«Зачтено»	Студент выполнил все практические задания; полно и развернуто ответил на теоретические вопросы; владеет материалом и отвечает на все дополнительные вопросы, приводит примеры
		«Не зачтено»	Студент не ответил на поставленные вопросы или его ответы не верны

Модуль 1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУШНЫХ ВЫБРОСОВ

Тема 1. Системы и методы очистки воздушных выбросов

Практическое задание 1 Определение пылеулавливающего оборудования по методам и способам очистки воздуха от вредных выбросов

Цель задания – получить практические навыки определения пылеулавливающего оборудования по методам и способам очистки воздуха от вредных выбросов.

Алгоритм выполнения практического задания

1. Изучите теоретическую часть задания.
2. Проведите анализ пылеулавливающего оборудования по методам, способам и принципам очистки.
3. На основании проведенного анализа:
 - заполните таблицу «Классификация пылеулавливающего оборудования по методам и способам очистки газа от взвешенных частиц» (форма 1.1);
 - определите принципы работы пылеулавливающих устройств, различающихся по методам и способам очистки газа от взвешенных частиц. Заполните таблицу «Принципы работы пылеулавливающих устройств» (форма 1.2).
4. Оформите отчет о практическом задании (отчет включает титульный лист и заполненные формы 1.1 и 1.2) и защитите его у преподавателя.

Теоретическая часть

Пыль образуется:

а) в результате механического измельчения твердых тел (при дроблении, размальвании, перемешивании, истирании, пересыпании, транспортировке материалов). Пыли, образующиеся в резуль-

тате механического измельчения, обычно состоят из частиц диаметром от 5 до 50 мкм и более;

б) при конденсации паров (например, при охлаждении газов, содержащих пары металлов или других веществ до температуры конденсации паров этих веществ). Пыли, образующиеся в результате конденсации паров, состоят из частиц диаметром до 3 мкм;

в) при горении топлива (зольный остаток). Пыли горения состоят из частиц диаметром 5–70 мкм;

г) при химическом взаимодействии других газов с образованием твердого продукта. Пыли, образующиеся в результате химического взаимодействия газов, состоят из частиц диаметром до 3 мкм.

В зависимости от агрегатного состояния улавливаемого или обезвреживаемого вещества установки подразделяются на газоочистные и пылеулавливающие.

Аппарат очистки газа — элемент установки, в котором непосредственно осуществляется избирательный процесс улавливания или обезвреживания веществ, загрязняющих атмосферу. В зависимости от метода очистки газоочистные аппараты подразделяются на семь групп:

1-я группа (С) — сухие механические пылеуловители;

2-я группа (М) — мокрые пылеуловители;

3-я группа (Ф) — промышленные фильтры, с регенерацией, с механическим и вибровстряхиванием;

4-я группа (Э) — электрические пылеуловители;

5-я группа (Х) — аппараты сорбционной (химической) очистки газа от газообразных примесей (адсорбция, абсорбция и т. п.);

6-я группа (Т) — аппараты термической и термокаталитической очистки газов от газообразных примесей;

7-я группа (Д) — аппараты других методов очистки.

Работа газоочистных установок в промышленных условиях характеризуется степенью очистки.

Кроме того, газоочистное оборудование характеризуется величиной аэродинамического сопротивления, технологическими условиями очистки, влажностью газового потока, дисперсностью и плотностью пыли.

Основные требования к эксплуатации газоочистного оборудования следующие:

- надежная и бесперебойная работа на проектных показателях;
- все установки очистки газа должны быть зарегистрированы, иметь паспорт, журнал учета работы и неисправностей;
- установки должны подвергаться проверке на эффективность периодически с оформлением соответствующего акта.

Широко распространенными устройствами для пылеулавливания являются циклоны, действие которых основано на использовании центробежной силы. Пылегазовая смесь поступает в устройство через штуцер и приобретает направленное движение вниз по спирали. При этом частицы пыли отбрасываются центробежной силой к стенке циклона, опускаются вниз и собираются в приемном бункере. Из бункера пыль периодически выгружается через затвор, называемый мигалкой. Когда нарастающая масса столба пыли над клапаном мигалки достигает определенной величины, клапан под тяжестью пыли открывается, сбрасывает пыль и возвращается под действием контргруза в исходное состояние. Мигалка должна быть отрегулирована так, чтобы пыль в бункере не накапливалась выше определенного уровня, иначе воздух, движущийся в конусной части циклона, будет захватывать и уносить с собой верхний слой осевшей пыли. Очищенный воздух выбрасывается через центральную трубу из аппарата.

При небольших капитальных затратах и эксплуатационных расходах циклоны обеспечивают очистку газов с эффективностью 85–98 % от частиц пыли размером более 10 мкм. Циклоны рекомендуется использовать перед высокоэффективными аппаратами газоочистки. В ряде случаев достигаемая эффективность циклонов оказывается достаточной для выброса газов или воздуха в атмосферу.

Для увеличения срока службы циклонов, подвергающихся абразивному износу, в местах наибольшего износа рекомендуется наносить специальное противоабразивное покрытие.

Исходя из соображений компоновки, групповые циклоны изготавливают с камерой очищенного газа в виде улитки или в виде сборника.

При работе циклонов должна быть обеспечена непрерывная выгрузка пыли. Уровень пыли в бункере не должен подниматься выше 0,5 диаметра циклона от крышки бункера.

В обычных условиях оптимальной скоростью воздуха в цилиндрической части бункера является 4 м/с, скорость 2,5 м/с рекомендуется принимать при работе с абразивной пылью.

Известно, что эффективность улавливания пыли в циклоне прямо пропорциональна массе частиц и обратно пропорциональна диаметру аппарата. Поэтому вместо одного циклона большого размера целесообразно ставить параллельно несколько циклонов меньших размеров.

Такие устройства называются групповыми или батарейными циклонами. Так, при необходимости обеспыливания потоков газа с расходом более 5500 м³/ч можно скомпоновать группу из четырех циклонов ЦН-11 с общим пылесборником.

Наиболее распространенным аппаратом этого типа является циклон НИИОГАЗ ЦН-11, который выпускается промышленностью с диаметрами 400, 500, 630 и 800 мм. В тех случаях, когда ограничены производственные площади, можно устанавливать циклон ЦН-15, который при равных эксплуатационных характеристиках имеет несколько меньшие размеры.

Для очистки больших объемов газов с неслипающимися твердыми частицами средней дисперсности можно использовать мультициклоны. В этих аппаратах вращательное движение пылегазового потока организуется с помощью специального направляющего устройства, расположенного в каждом циклонном элементе. Мультициклоны, состоящие из элементов диаметром 40–250 мкм, обеспечивают высокую степень очистки газов от мелкодисперсных частиц диаметром меньше 5 мкм.

Мультициклоны широко используются в производстве суперфосфата, калийных и других видов минеральных удобрений.

Циклоны являются эффективными пылеулавливающими устройствами, степень очистки которых зависит от размера частиц и может достигать 95 %.

К недостаткам циклонов всех конструкций относится сравнительно высокое аэродинамическое сопротивление, а также значи-

тельный абразивный износ стенок аппаратов и вероятность вторичного уноса осевшей в пылесборнике пыли за счет перегрузки по газу и неплотностей. Кроме того, циклоны недостаточно эффективно улавливают полидисперсные пыли с диаметром частиц менее 10 мкм и низкой плотностью материала.

Для устранения недостатков вышеописанных циклонов разработаны вихревые пылеуловители, которые также относятся к прямоточным аппаратам центробежного действия. Сопловые и лопаточные используются для высокоэффективной очистки вентиляционных выбросов от мелкодисперсной пыли, как правило, с заметным содержанием частиц с диаметром 3–5 мкм в химической, нефтехимической и других отраслях промышленности.

В тех случаях, когда допустимо увлажнение очищаемого газа, применяют гидропылеуловители. В этих аппаратах запыленный поток соприкасается с жидкостью или орошаемыми ею поверхностями. Мокрые пылеуловители отличаются от сухих более высокой эффективностью при сравнительно небольшой стоимости. Они особенно эффективны для очистки газовоздушных выбросов, содержащих пожаро- и взрывоопасные, а также слипающиеся вещества.

Аппараты мокрой очистки можно использовать для очистки газов от мелкодисперсных пылей с размером частиц от 0,1 мкм, а также от газо- и парообразных вредных веществ.

Конструкции аппаратов для мокрой очистки газовоздушных выбросов чрезвычайно разнообразны, как и производственные условия, в которых они эксплуатируются.

Мокрые пылеуловители подразделяются на пять групп:

- 1-я группа – скрубберы;
- 2-я группа – мокрые центробежные пылеуловители;
- 3-я группа – турбулентные пылеуловители;
- 4-я группа – пенные аппараты;
- 5-я группа – вентиляторные пылеуловители.

Наиболее простыми и распространенными аппаратами для очистки и охлаждения газов являются полые и насадочные скрубберы. Они представляют собой вертикальные цилиндрические колонны, в нижнюю часть которых вводится запыленный газ, а сверху, через форсунки, подают распыленную жидкость. Очищенный газ

отводится из верхней части аппарата, а вода с уловленной пылью в виде шлама собирается внизу скруббера. Степень очистки от пыли с частицами размером более 5 мкм может достигать более 90 %.

Наиболее высокие результаты очистки достигаются при использовании форсунок грубого распыла, образующих капли диаметром 0,5–1,0 мм. Для снижения брызгоуноса скорость очищаемого газа в скруббере не должна превышать 1–1,2 м/с.

Для полых скрубберов плотность орошения составляет 5–10 м³/м²/ч, гидравлическое сопротивление – порядка 250 Па. При этом достигается улавливание частиц пыли размером более 10 мкм.

Насадочные скрубберы заполняются различными насадочными телами, уложенными на опорной решетке. Одновременно с улавливанием пыли на сложной поверхности насадочных тел может происходить и абсорбция отдельных компонентов газовой смеси. Гидравлическое сопротивление насадочного скруббера зависит от скорости газа, плотности орошения, высоты насадки, некоторых других параметров и находится в пределах 300–800 Па.

Центробежные мокрые пылеуловители являются самой многочисленной группой разделительных аппаратов самого разного назначения. Наиболее характерным примером такого аппарата является циклон с водяной пленкой.

Пылеуловители типа «центробежные вихревые пылеулавливатели» с диаметром конуса от 315 до 1000 мм рассчитаны на производительность по газу 1000–20000 м³/ч. Удельный расход воды на орошение аппарата диаметром 1000 мм равен примерно 0,05 л/м³/ч газа. Гидравлическое сопротивление аппаратов ЦВП находится в пределах 400–2000 Па. Рассмотренные пылеуловители отличаются стабильностью в работе в широком диапазоне расходов по газу и расходу орошающей воды при минимальном брызгоуносе. Изменение нагрузки по газу на 30 % не оказывает существенного влияния на эффективность пылеулавливания.

Из турбулентных пылеуловителей в последние годы широкую популярность завоевали скрубберы Вентури, высокая эффективность которых позволяет обеспечить очистку газа практически для любой концентрации улавливаемой пыли. Эти аппараты просты в изготовлении, монтаже и эксплуатации, характеризуются небольшими габаритами.

В скруббере Вентури запыленный газ через конфузор подается в горловину, где вследствие уменьшения живого сечения аппарата скорость потока возрастает до 30–200 м/с. Вода подается в зону конфузора. При смешивании с потоком газа она превращается в мелкие капли. В горловине и диффузоре частицы пыли, содержащиеся в запыленном воздухе, соединяются с капельками воды, увлажняются, коагулируют и в виде шлама выделяются в сепараторе. Вода в скруббер может подаваться различными способами, однако наибольшее распространение получила схема с центральным подводом жидкости в конфузор.

Скрубберы Вентури по исполнению могут быть круглого и щелевого сечения, вертикальные, горизонтальные и наклонные. Удельное орошение в скрубберах этого типа составляет 0,1–6 л/м³/ч очищаемого газа. Частицы пыли размером более 10 мкм извлекаются из газового потока практически полностью. В зависимости от величины гидравлического сопротивления скрубберы Вентури бывают низконапорными и высоконапорными.

В качестве каплеуловителей используются почти все известные типы гидромеханических аппаратов для разделения неоднородных систем. Чаще всего применяются циклоны самых различных типов.

Эффективность скрубберов Вентури зависит от скорости газа в горловине трубы, концентрации и дисперсного состава пыли, ее физико-химических свойств, расхода жидкости на орошение и других факторов.

В некоторых случаях оправдано использование пенных аппаратов, в которых запыленный поток воздуха проходит через слой жидкости со скоростью 2–3 м/с. В результате создаются условия для образования слоя высокотурбулизированной пены. Пенные аппараты поставляются двух типов — с провальными решетками и переливной решеткой. По исполнению пенные аппараты могут быть круглого, прямоугольного и квадратного сечения.

Основным недостатком пенных аппаратов является чувствительность к колебаниям расхода очищаемого газа. Это приводит к прорыву неочищенных газов, повышенному брызгоуносу и как следствие — к резкому снижению эффективности аппарата. Кроме того, при орошении решеток аппарата рассолами при мине-

рализации солей 270–360 гм/л наблюдается зарастание решеток и внутренней части пылеуловителя. Засорение отложениями солей и пыли приводит к потере работоспособности оборудования.

К вентиляторным пылеуловителям относятся сухие и мокрые ротоклоны, которые широко используются за рубежом. По существу, они представляют собой комбинированные пылеуловители, принцип действия которых основан на осаждении пыли орошаемыми поверхностями, действии инерционных и центробежных сил, распылении воды.

Одним из представителей вентиляторных пылеуловителей является центробежный ротационный пылеуловитель – ЦРП, разработанный для очистки газов от некоагулирующихся пылей с размером частиц 1–5 мкм. При большой запыленности газа целесообразно на первой ступени использовать циклон.

В последние годы в промышленности широко внедряются ударно-инерционные аппараты типа ПВМ для очистки 10, 20, 40 тысяч м³/ч воздуха. Типы таких аппаратов удаляют вытяжными вентиляционными системами пыли средней и малой дисперсности. Они могут применяться во всех отраслях промышленности, а также для улавливания взрывоопасных и пожароопасных пылей, за исключением случаев, когда улавливаемая пыль способна цементироваться или кристаллизоваться в воде. Расход воды в пылеуловителях при умеренной температуре очищаемого воздуха следует принимать равным 0,005 л/м³/ч.

Эффективность мокрых пылеуловителей зависит в большей степени от смачиваемости пыли. При улавливании плохо смачиваемой пыли в орошающую воду вводят поверхностно-активные вещества.

К недостаткам мокрого пылеулавливания относятся: большой расход воды, сложность выделения уловленной пыли из шлама, возможность коррозии оборудования при переработке агрессивных газов. Кроме того, мокрые пылеуловители требуют значительного расхода электроэнергии для подачи и распыления воды.

Одним из наиболее совершенных способов выделения из воздуха взвешенных твердых частиц является его фильтрация через сухие цельные, сыпучие и комбинированные перегородки. Этот способ

характеризуется высокой степенью очистки воздуха; возможностью улавливания частиц загрязнений при любом давлении воздуха; использованием химически стойких материалов; стабильностью процесса очистки; простотой эксплуатации.

В связи с возросшими требованиями к степени очистки газов в последние годы четко выявляется тенденция к увеличению доли использования фильтров по сравнению с аппаратами мокрой очистки и электрофильтрами. Это связано с повышением требований к качеству очистки и удорожанием воды, необходимой для мокрой очистки газов, расширением производства.

Фильтры. Фильтрами называются устройства, в которых запыленный воздух пропускается через пористые материалы, способные задерживать или осадить пыль. Очистку от грубой пыли проводят в фильтрах, заполненных коксом, песком, гравием, насадкой различной формы и природы. Для очистки от тонкодисперсной пыли применяют фильтрующие материалы типа бумаги, сетки, нетканых материалов, войлока или ткани различной плотности. Бумагу используют для очистки атмосферного воздуха или же газа с низким содержанием пыли.

В промышленных условиях применяют тканевые или рукавные фильтры. Они имеют форму барабана, матерчатых мешков или карманов, работающих параллельно. Частицы пыли, оседая на фильтрующий материал, создают слой с порами, меньшими, чем у фильтрующего материала, поэтому улавливающая способность слоя пыли возрастает, но вместе с этим увеличивается и его аэро-статическое сопротивление. С течением времени слой пыли уплотняется, сопротивление его увеличивается, поэтому его приходится удалять встряхиванием фильтрующего материала, обратной продувкой струей воздуха или другими способами.

Тканевые рукава изготавливаются из хлопка, шерсти, лавсана, нейлона, полипропилена, тефлонов, стекловолокна и других материалов. Часто на ткань наносится силиконовое покрытие с целью повышения изгибоустойчивости, термостойкости, стойкости к усадке, абразивному износу или улучшению регенерации ткани. Выбор фильтрующего материала зависит от условий его эксплуатации. Степень очистки газов от пыли при правильной эксплуатации фильтров может достигать 99,9 %.

Недостатками рукавных фильтров являются трудоемкость ухода за тканью рукавов и большая металлоемкость аппаратов, так как натягивание рукавов осуществляется с помощью грузов. Фильтр большой единичной мощности содержит около 100 000 рукавов, и для их натягивания приходится затрачивать около 200 тонн металла.

В настоящее время промышленностью выпускаются фильтры типа ФРКИ и ФРКДИ. Они рекомендованы для сухой высокоэффективной очистки газов от большинства видов пыли с размером частиц более 2 мкм. Применяются в различных отраслях промышленности при температурах, определяемых материалом ткани, из которой изготовлены рукава. Фильтры ФРКИ-30, ФРКИ-60 и ФРКИ-90, состоящие соответственно из одной, двух и трех секций, имеют одинаковую высоту 2 метра.

Количество секций в фильтрах ФРКИ-180 увеличено до 4, ФРКИ-360 — до 8, высота рукавов — до 3 метров. Вход запыленного газа в корпус осуществляется через боковые стенки бункеров, выход — сверху.

Регенерация фильтра производится без отключения секции импульсами сжатого воздуха под давлением 0,6 мкПа, поступающего внутрь рукавов сверху через отверстие в продувочных коллекторах. Подача импульсов длительностью 0,1–0,2 с обеспечивается электромагнитными клапанами, управление которыми осуществляется автоматически.

Для тонкой очистки запыленных газов и улавливания ценных аэрозолей из отходящих газов применяется металлокерамический фильтр ФМК. Фильтрующие элементы, собранные из металлокерамических трубок, закреплены в трубной решетке и заключены в корпус фильтра. На наружной поверхности фильтрующего элемента образуется слой уловленной пыли. Для разрушения и частичного удаления этого слоя предусмотрена обратная продувка сжатым воздухом. Степень очистки газов от пыли составляет 99,99 %.

В промышленности для тонкой очистки газов от пыли и токсичных примесей широко используется большое количество конструкций фильтров из пористых материалов. К ним относятся фильтры с полужесткими фильтровальными перегородками из ультратонких полимерных материалов, обладающих термостойкостью, механиче-

ской прочностью и химической стойкостью. Среди множества конструкций фильтров этого типа наиболее широкое распространение получили рамочные фильтры.

Известно много конструкций насадочных фильтров коробчатого типа с насадкой из стекловолокна, шлаковаты и других волокнистых материалов. Например, толщина насадки 100 мм при плотности набивки 100 кг на метр кубический и скорости фильтрации 0,1–0,3 м в секунду. Аэродинамическое сопротивление таких фильтров составляет 450–900 Па. Коробчатые или кассетные фильтры используются обычно для очистки вентиляционных газов при низкой и небольшой начальной запыленности порядка 0,1 г/м³.

Для санитарной очистки вентиляционного воздуха, содержащего туман и брызги кислот, щелочей и других аэрозолей, широко используются волокнистые фильтры типа ФВГ-Т. Внутри корпуса фильтра размещены кассеты с фильтрующим материалом, наложенным на каркас и прижатым решеткой из пруткового материала. Кассеты изготавливаются в виде вертикально расположенных складок. Установка и смена их осуществляются через монтажный люк. Фильтр работает в режиме накопления уловленного продукта на поверхности фильтрующего материала с частичным стоком жидкости. По достижении перепада давления 500 Па фильтр подвергается периодической промывке с помощью переносной форсунки, вводимой через люк.

Разработаны и выпускаются фильтры пяти типоразмеров производительностью от 3,5 до 80,0 м³/ч. Фильтр ФВГ-Т изготавливается в правом и левом исполнении в зависимости от стороны обслуживания, остальные — с двухсторонним обслуживанием. Фильтрующим материалом служит иглопробивной войлок с толщиной слоя 4–5 мм.

Фильтры РИФ, ФК, РИФ-ФК предназначены для очистки воздуха от токсичных газов и паров, аэрозолей кислот, щелочей.

Они используются в машиностроительной, электронной, металлургической промышленности, при производстве строительных материалов и в других отраслях.

Очистка воздуха и газов в ионообменных фильтрах происходит в результате химических реакций между молекулами газов, аэрозолей и функциональными группами ионообменных волокни-

стых материалов, являющихся основой фильтрующих элементов. Очистке подвергаются газы с содержанием токсических примесей. Благодаря химическому связыванию вредных веществ ионообменными фильтроматериалами достигается высокая степень очистки. Эффективность очистки практически не зависит от колебаний концентрации загрязняющего компонента и скорости воздушного потока. Фильтры характеризуются возможностью очистки нагретого воздуха; воздуха с низким и высоким влагосодержанием.

Электрофильтры применяются для очистки запыленных газов от наиболее мелких частиц пылей и туманов. Промышленные электрофильтры делятся на две группы: одноступенчатые, в которых одновременно происходят ионизация и очистка воздуха, и двухступенчатые, в которых ионизация и очистка воздуха проводятся в разных частях аппарата.

По конструкции электрофильтры делятся на пластинчатые и трубчатые, горизонтальные и вертикальные, двупольные и многопольные, одно- и многосекционные, сухие и мокрые.

Постоянный электрический ток высокого напряжения в электрофильтр подают на так называемый коронирующий и осадительный электроды. Электрофильтры обеспечивают высокую степень очистки. Эти фильтры обладают большой пропускной способностью. Недостатками электрофильтров являются их высокая стоимость и сложность в эксплуатации.

Ультразвуковые аппараты используются для повышения эффективности работы циклонов или рукавных фильтров. Ультразвук со строго определенной частотой приводит к коагуляции и укрупнению частиц пыли. Наиболее распространенными источниками ультразвука являются разного типа сирены. Относительно хороший эффект ультразвуковые пылеуловители дают при высокой концентрации пыли в очищаемом газе. Чтобы увеличить эффективность работы аппарата, в него подают воду. Ультразвуковые установки в комплексе с циклоном применяют для улавливания сажи, тумана, различных кислот.

Адсорбция основана на избирательном извлечении вредных компонентов из газа при помощи адсорбентов — твердых веществ с развитой поверхностью. Адсорбенты должны обладать высокой поглотительной способностью, избирательностью, термической и механической стойкостью, низким сопротивлением потоку газа,

Метод очистки под действием электрических сил	
Название устройства	
Улавливание пыли сухим способом	Улавливание пыли мокрым способом

Форма 1.2

Принципы работы пылеулавливающих устройств

№ п/п	Название устройства	Принцип работы
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Критерии оценки

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если правильно оформлены отчетные таблицы.

Оценка «не зачтено» – если неправильно оформлены отчетные таблицы.

Тема 2. Методы очистки воздушных вредных выбросов от пылей

Практическое задание 2 Характеристика оборудования для очистки вредных выбросов от пылей

Цель задания — получить практические навыки организации применения оборудования для очистки вредных выбросов от пылей.

Алгоритм выполнения практического задания

1. Изучите теоретическую часть задания.
2. Проведите анализ основных характеристик оборудования для очистки вредных выбросов от пылей.
3. На основании проведенного анализа заполните таблицу «Характеристика оборудования для очистки вредных выбросов от пылей» (форма 2.1).
4. Оформите отчет о практическом задании (отчет включает титульный лист и заполненную форму 2.1) и защитите его у преподавателя.

Теоретическая часть

Сухие пылеуловители. К простейшим пылеулавливающим устройствам относятся пылеосадительные камеры, работа которых основана на осаждении частиц под действием силы тяжести и инерции. Гравитационное осаждение действительно лишь для крупных частиц диаметром более 50–100 мкм, причем степень очистки составляет не выше 40–50 %. Метод пригоден лишь для предварительной, грубой очистки газов от механической пыли.

Пылеосадительная камера. Принцип действия пылеосадительной камеры заключается в том, что внутри данной установки газ движется настолько медленно, что загрязняющие частицы успевают осесть в результате действия силы тяжести. Чем меньше высота камеры, тем быстрее осаждаются частицы. По этой причине внутри таких камер устанавливаются горизонтальные перегородки (параллельные или наклонные). Расстояние между перегородками нахо-

дится в диапазоне от 400 до 1000 мм. Таким образом, поверхность осаждения увеличивается, а газ распределяется более равномерно по ширине камеры. Данный тип аппаратов характеризуется высокой эффективностью и большими габаритами. Такие установки используют только для первичной грубой очистки газов.

Процесс очистки газов от пылей, при котором твердые частицы осаждаются под действием силы тяжести, осуществляется в пылеосадительных камерах (рис. 2.1).

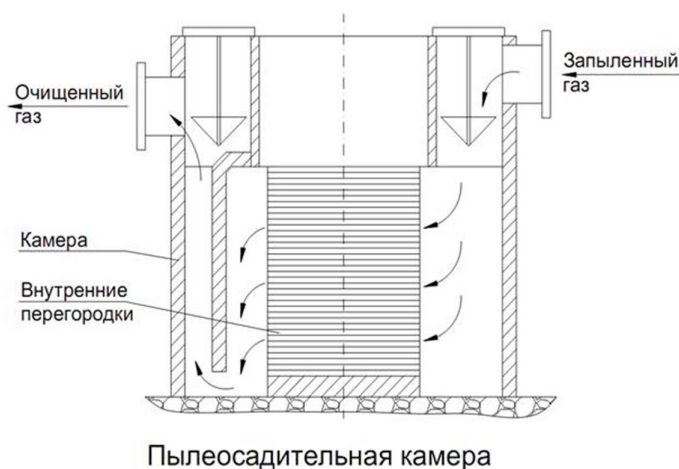


Рис. 2.1. Очистка газов от пыли в пылеосадительных камерах¹

Камера имеет следующее устройство. Корпус оснащен горизонтальными полками. Полки расположены на расстоянии 100–300 мм друг от друга и образуют при этом каналы. Поступая в корпус камеры, запыленный газ проходит между полок, а твердые частицы осаждаются на их поверхности. В корпусе также установлена вертикальная отражательная перегородка, которая обеспечивает равномерное распределение газа по каналам. После того, как газ пройдет полки, он огибает эту перегородку и выводится из камеры. Когда газ огибает перегородку, из него удаляется часть пыли под действием

¹ Схема и описание действия пылеосадительных камер и газоходов // StudFiles : сайт. URL: studfile.net/preview/9728333/page:7/ (дата обращения: 18.03.2021).

силы инерции. Удаление твердой фазы из камеры осуществляется через люки при помощи скребков или смывается водой.

Пылеосадительные камеры позволяют устанавливать большое число полок, тем самым увеличивая площадь поверхности для осаждения пыли. Однако, несмотря на это, они способны сделать газ чище не более чем на 30–40 %. При этом осаждаются только крупные частицы размером более 5 мкм. По этой причине пылеосадительные камеры применяются для грубой очистки сильно запыленных газов, в которых имеются относительно крупные частицы.

Циклон. Наиболее распространенными установками сухого пылеулавливания являются циклоны (рис. 2.2).

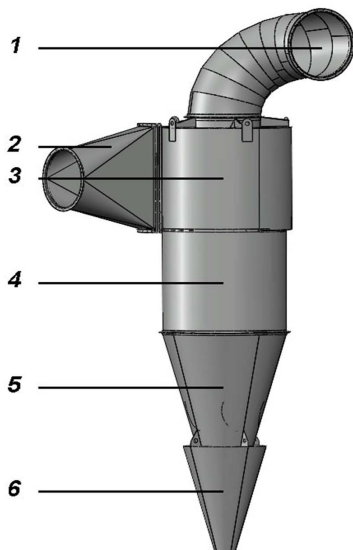


Рис. 2.2. Составные части циклона:

1 – выходной патрубок; 2 – улитка; 3 – входной патрубок; 4 – корпус цилиндрический; 5 – конус верхний; 6 – конус нижний²

Пылевоздушная масса со взвешенными в ней твердыми частицами через входной патрубок поступает в цилиндрическую часть циклона и совершает движение сверху вниз по наружной спирали.

² Схема и описание действия циклона // СтанкоТехПоставка : сайт. URL: stankotec.ru/raznoe-2/oborudovanie-ciklon-ciklony-dlya-ochistki-vozduxa-ot-pyliy-izgotovlenie-svoim-rukami.html (дата обращения: 17.03.2021).

Под действием центробежной силы фракции зерновой пыли отделяются и по стенкам циклона перемещаются вниз в сборный конус. Обычно в циклонах центробежное ускорение в несколько сотен, а то и в тысячу раз больше ускорения силы тяжести, поэтому даже весьма маленькие частицы пыли не в состоянии следовать за газом, а под влиянием центробежной силы движутся к стенке. Собранная пыль движется вдоль стенки по спирали вниз в пылевой бункер. Чистый воздух по мере движения сверху вниз частично меняет свое направление, поступая в осевую зону циклона. Чистый воздух выводится в воздуховод для очищенного воздуха сверху или сбоку циклона, частицы пыли вследствие своей инерционности этого сделать не успевают и попадают в бункер.

Степень очистки воздуха в циклоне составляет 80–90 % в зависимости от размеров аппарата, свойств пылевых частиц, скорости пылевоздушного потока и пр. Эффективность улавливания частиц возрастает с уменьшением диаметра циклона и увеличением скорости потока.

Пылеуловители повышают надежность работы всего комплекса элеваторного оборудования, понижают риск пожарной опасности, а также снижают уровень профессиональных заболеваний работников хранилищ. Поэтому их установка на любом элеваторе – это одно из необходимых звеньев высокопроизводительной технологической цепочки.

Механический вращающийся пылеуловитель (ротационный). Механические вращающиеся пылеуловители (ротационные) представляют собой установки, которые одновременно перемещают и очищают воздух. Типичная схема ротационной пылеулавливающей установки представлена ниже (рис. 2.3).

Вращающееся колесо выполнено в форме вогнутого диска, на котором размещены лопатки. Данная конструкция помещена в улиткообразный корпус. Загрязненный газ подается посредством патрубка по оси колеса. В результате действия инерционных сил газ заполняет пространство в узких каналах между лопатками колеса. Твердые пылевые частицы, обладая большим весом по сравнению с газом, подвержены воздействию центробежных сил. Пыль прижимается к диску и лопаткам, скользит по ним от центра к периферии

и попадает в пространство между кожухом и диском. После этого частицы выводятся в пылеприемник. Из пылеприемника газовая смесь, содержащая до 5 % газа, поступает в бункер, где она оседает. Чистый газ выводится посредством выходного патрубка.

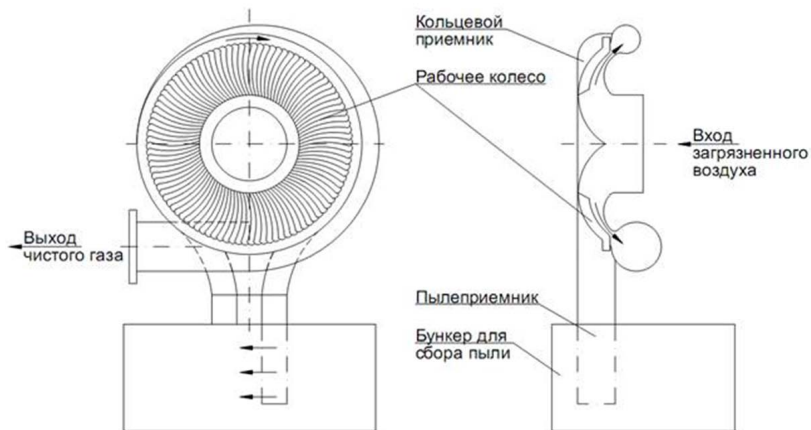


Рис. 2.3. Схема типичного механического вращающегося пылеуловителя³

К преимуществам данных установок принято относить высокую производительность, небольшие габариты, несложность в эксплуатации, качественную очистку от мелких пылевых частиц.

Жалюзийный пылеуловитель. Схема действия жалюзийных пылеуловителей, которые также относятся к инерционным пылеуловителям, может быть представлена следующим образом: движущийся в газопроводе запыленный поток встречается с жалюзийной решеткой, состоящей из ряда наклонно установленных пластин (рис. 2.4). Как правило, жалюзийные пылеуловители устанавливаются перед центробежными циклонами.

В жалюзийном пылеуловителе струи газа, огибая пластины, резко изменяют направление движения, проходят на другую сторону решетки и движутся в прежнем направлении. Частицы пыли, встречаясь с пластинами решетки, стремятся по инерции сохра-

³ Схема и описание действия механического вращающегося пылеуловителя // ENCE GmbH : сайт. URL: oil-filters.ru/dust_collectors/ (дата обращения: 17.03.2021).

нить первоначальное направление движения, не огибают пластину, а ударяются о ее поверхность, отражаются в сторону, противоположную движению газов, опять поворачивают по направлению газового потока, ударяются о следующую по ходу газа пластину и т. д. В результате газы, прошедшие через решетку, очищаются, а газы, оставшиеся по другую сторону решетки, обогащаются пылью. Эта часть газового потока (около 10 % от общего объема газов) направляется для окончательной очистки в другой пылеуловитель (чаще всего центробежный циклон).

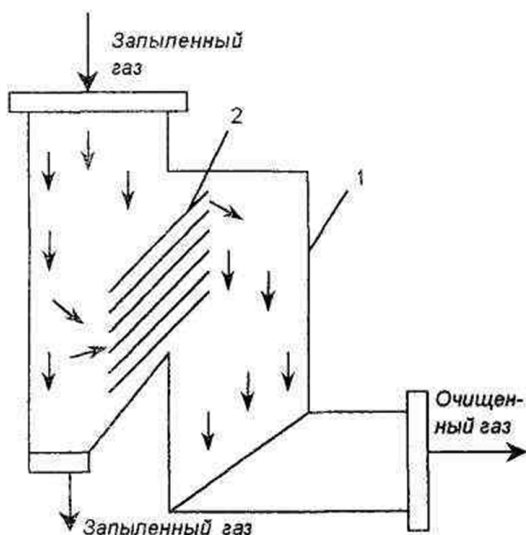


Рис. 2.4. Жалюзийный пылеуловитель с частичным отводом запыленного газа: 1 – жалюзийная решетка; 2 – очищенные газы (<https://slide-share.ru/ochistka-vozdukha-ot-pili-151884>)

При повышении скорости подхода газов к пластинам решетки степень улавливания пыли в жалюзийном пылеуловителе вначале быстро растет, начиная со скорости около 10 м/с этот рост замедляется. Обычно жалюзийные пылеуловители работают со скоростью газов 12–15 м/с.

На степень улавливания пыли существенное влияние оказывает скорость движения газов, отсасываемых в центробежный циклон. Для того чтобы в циклон было отведено больше пыли, эта скорость

должна быть не меньше скорости газов при подходе к жалюзийной решетке. Рекомендуемое гидравлическое сопротивление решетки жалюзийного пылеуловителя составляет $98\text{--}490 \text{ н/м}^2$ (10–50 мм вод. ст.), а циклонов $98\text{--}245 \text{ н/м}^2$ (10–25 мм вод. ст.).

Кроме того, по мере износа жалюзийной решетки степень улавливания пыли жалюзийным пылеуловителем снижается. Поэтому область применения жалюзийных пылеуловителей ограничена. Их используют для улавливания относительно крупной пыли с частицами размером больше 20 мкм.

Если запыленный поток сталкивается с каким-либо телом, поток обтекает его, а частицы пыли, обладающие большей инерцией, ударяются о поверхность этого препятствия и могут осесть на ней. В нем установлено несколько рядов стержней, имеющих форму полумесяца. Осевшая на стержнях пыль смывается водой.

Выделение пыли из газового потока в жалюзийных пылеуловителях основано на использовании силы инерции. Поэтому большое влияние на их работу оказывают:

- 1) скорость движения газов при подходе к пластинам решетки;
- 2) размер и плотность частиц пыли;
- 3) вязкость и плотность очищаемых газов;
- 4) конструкция решетки, так как все эти факторы влияют на силу инерции, действующую на частицу.

При увеличении размеров частиц пыли повышается степень ее улавливания жалюзийным пылеуловителем. Кроме того, по мере износа жалюзийной решетки степень улавливания пыли уменьшается, поэтому область применения жалюзийных пылеуловителей ограничена. Их используют, как правило, совместно с центробежными циклонами для улавливания относительно крупной пыли для частиц пыли размерами больше 20 мкм.

Мокрые пылеуловители. Достаточно широкое применение для очистки газов и воздуха от мелкодисперсной пыли с диаметром частиц более 0,3–1,0 мкм, а также для очистки от пыли взрывоопасных и имеющих высокую температуру газов нашли мокрые пылеуловители (рис. 2.5).

Принцип действия мокрых пылеуловителей заключается в осаждении частиц пыли на поверхность капель или пленки жидкости

за счет сил инерции и броуновского движения. Силы инерции зависят от массы капель и частиц пыли, а также от скорости их движения. Частицы пыли малого размера (менее 1 мкм) не обладают достаточной кинетической энергией и при сближении с каплями обычно огибают их и не улавливаются жидкостью. Броуновское движение характерно для частиц малого размера.

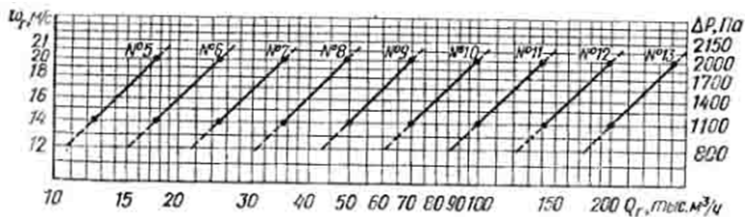


Рис. 2.5. Номограмма для определения скорости воздуха и гидравлического сопротивления скоростных промывателей СИОТ (<https://game-fans.ru/articles/chto-takoe-skrubber-na-sudne>)

С учетом конструктивных особенностей мокрые пылеуловители разделяют на следующие:

- скрубберы Вентури;
- форсуночные и центробежные скрубберы;
- аппараты ударно-инерционного типа; барботажно-пенные аппараты и др.

Скрубберы Вентури. Скрубберы Вентури являются эффективными аппаратами мокрого пылеулавливания. Общей конструктивной особенностью этих аппаратов является наличие трубы-распылителя, в которой происходит процесс дробления движущимся со скоростью до 150 м/с пылегазовым потоком орошающей жидкости и установленного за ней каплеуловителя. Разработан большой ряд конструкций скрубберов Вентури (рис. 2.6).

В скрубберах Вентури с центральным (форсуночным) орошением (рис. 2.6, а) подача орошающей жидкости осуществляется форсунками, установленными перед конфуззором или непосредственно в нем. Давление перед форсунками обычно составляет от 0,2 до 0,3 МПа. В основном применяются центробежные (механические эвольвентные, цельнофакельные и др.) форсунки.

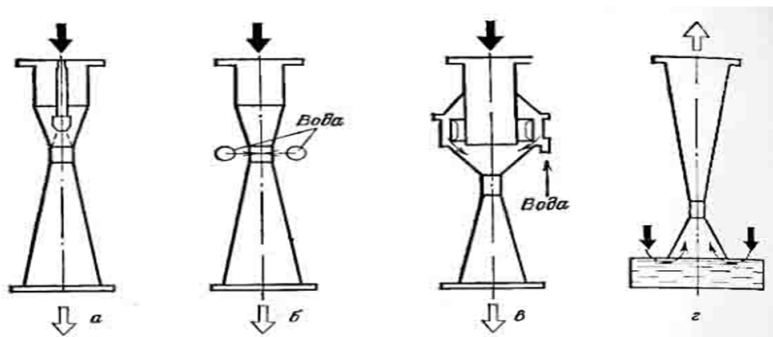


Рис. 2.6. Конструкция труб-распылителей: *а* – центральный (форсуночный) подвод орошения; *б* – периферийное орошение; *в* – пленочное орошение; *з* – бесфорсуночное орошение⁴

При угле α_ϕ максимально возможное расстояние от форсунки до верхней кромки конфузора составляет $d_1/2/2 \operatorname{ctg} \alpha_\phi$.

В скрубберах Вентури с пленочным орошением (рис. 2.6, *в*) для предотвращения образования отложений на стенках конфузора и диффузора при орошении трубы сильно загрязненной оборотной жидкостью предложена пленочная подача жидкости. Такая подача может применяться как совместно с подачей через форсунки или периферийной, так и самостоятельно, главным образом в щелевых трубах-распылителях.

Для обеспечения лучшего контакта газов с жидкостью по периметру горловины трубы с пленочным орошением рекомендуется предусматривать уступ. Для труб-распылителей с пленочным орошением большое значение имеет диаметр или ширина горловины. Размер максимально возможного диаметра или ширины горловины зависит от скорости газов, однако не рекомендуется принимать его больше 100 мм.

Скрубберы Вентури с подводом жидкости за счет энергии газового потока (рис. 2.6, *з*) еще называют бесфорсуночными скрубберами Вентури. Они применяются в качестве абсорберов, но могут использоваться и для пылеулавливания, особенно при орошении оборотной жидкостью с большим количеством взвеси.

⁴ Конструкции скруббер Вентури // ООО ВОСТОК МЕТАЛЛ : сайт. URL: www.xn----8sbenxjaera6amf.xn--p1ai/goods/89877822-skrubber_venturi (дата обращения: 18.03.2021).

Газы, подаваемые на очистку, контактируют с поверхностью жидкости, находящейся в приемной чаше или другой емкости, захватывают и увлекают жидкость за собой в виде брызг и капель в трубу-распылитель.

Гидравлическое сопротивление аппарата увеличивается с возрастанием удельного орошения, которое может быть обеспечено за счет повышения как скорости газа (при постоянном уровне жидкости), так и уровня жидкости (при постоянной скорости газа). Так, при скорости газов в горловине трубы-распылителя 50–60 м/с увеличение орошения с 0,8 до 3,3 л/м³ приводит к росту гидравлического сопротивления аппарата с 700 до 3000 Па. Гидравлическое сопротивление бесфорсуночной трубы-распылителя ниже, чем трубы-распылителя форсуночным или периферийным орошением при одних и тех же удельном расходе орошающей жидкости и скорости газов в горловине. Это объясняется худшим дроблением капель в этом аппарате, что приводит, в свою очередь, к более низкой его пылеулавливающей способности.

В зависимости от поставленной задачи основные элементы аппарата (труба-распылитель и каплеуловитель) komponуются раздельно или в едином корпусе (рис. 2.7 и 2.8).

Высоконапорные скрубберы Вентури предназначены для обеспыливания газов с температурой до 400 °С и концентрацией пыли до 30 г/м³; допустимое содержание взвеси в оборотной воде — 0,5 г/л.

Унифицированный ряд скрубберов Вентури с кольцевым сечением горловины имеет такие же технические требования по концентрации пыли и содержанию взвеси в орошающей жидкости, как высоконапорные аппараты.

Есть две модификации скрубберов Вентури. Первая модификация рассчитана на производительность по газам от 2000 до 50 000 м³/ч и включает четыре типоразмера. В аппаратах этой модификации предусмотрена регулировка сечения горловины с помощью конического обтекателя с углом раскрытия 7°. Труба-распылитель устанавливается внутри центробежного каплеуловителя (на диффузоре трубы закреплена центробежная розетка).

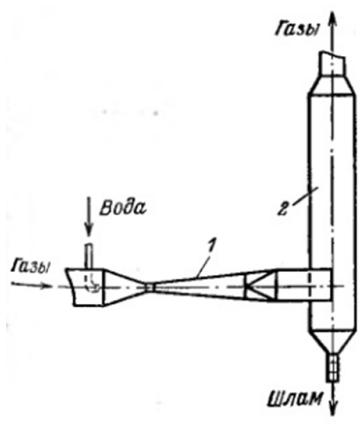


Рис. 2.7. Скруббер Вентури с выносным каплеуловителем:
 1 – труба-распылитель; 2 – циклон-каплеуловитель⁵

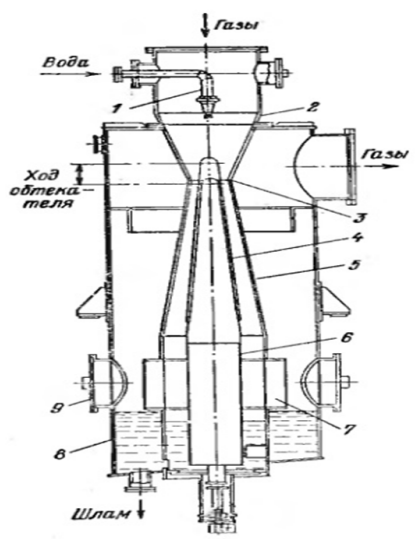


Рис. 2.8. Скруббер Вентури с регулируемым сечением кольцевой горловины: 1 – форсунка; 2 – конфузор; 3 – горловина; 4 – регулирующий конус; 5 – диффузор; 6 – направляющий шток; 7 – центробежный завихритель; 8 – корпус каплеуловителя; 9 – люк⁶

⁵ Схема и описание действия скруббера Вентури с выносным каплеуловителем // ООО ВОСТОК МЕТАЛЛ : сайт. URL: www.xn----8sbenxjaepamf.xn--plai/goods/89877822-skrubber_venturi (дата обращения: 18.03.2021).

⁶ Там же.

Полые форсуночные скрубберы. Самыми простыми мокрыми пылеуловителями являются полые форсуночные скрубберы. Такие аппараты — это колонны, имеющие прямоугольное или круглое сечение, где и происходит контакт очищаемого газа с жидкостью, которая распыливается при помощи форсунок. Среди достоинств таких аппаратов следует выделить возможность очищения газов, содержащих большое количество пыли, а также небольшое гидравлическое сопротивление.

Следует заметить, что чем выше разность скоростей газа и капель, а также чем меньше размер самих капель, тем выше эффективность работы скруббера.

Полые скрубберы делятся по направлению движения газов на противоточные, прямоточные и скрубберы с поперечным приводом жидкости. При этом форсунки, из которых распыливается жидкость, могут располагаться как по центру аппарата, так и по его периметру. В зависимости от необходимого размера капель выбирается тип форсунок. Но в любом случае размер капель должен быть таким, чтобы их не уносил газовый поток, который имеет скорость $V_{\Gamma} = 0,6-1,5$ м/с).

Для того чтобы произвести расчет полого скруббера, используется следующая последовательность.

Для определения площади сечения скруббера используется заданный расход запыленного газа. При этом скорость газового потока берется равной 1 м/с.

$$F = Q / V_{\Gamma}.$$

Высота аппарата принимается равной $H = 2,5 D$, где D является диаметром противоточного скруббера.

Далее необходимо определить расход жидкости m . Данная величина берется из промежутка $0,5-8$ л/м³ газов. Если газы сильно запылены, то m принимается равной от 6 до 8 л/м³. Таким образом, $V_{\text{ж}} = mQ$, где $V_{\text{ж}}$ является объемным расходом жидкости, а Q — расходом очищаемого газа.

После проведенных расчетов следует оценить эффективность очищения газа от пыли в каждом конкретном случае.

Мокрые пылеуловители. Скрубберы. Описание и преимущества.

Высокая степень извлечения пыли из газа достигается путем мокрой очистки.

В процессе охлаждения влажного газа происходит конденсация водяных паров на частицах пыли. Таким образом, возрастает вес пылинок, и они легко выделяются из газа под действием сил тяжести (если газ движется прямо) или сил инерции (если газ движется по касательной).

Смачивание и поглощение осуществляются при помощи:

- стекания водной пленки по внутренним стенкам установки;
- разбрызгивания воды внутри аппарата;
- комбинированного способа.

Предварительная очистка и охлаждение газа осуществляются в полых скрубберах или скрубберах с насадкой. Конструктивно скруббер представляет собой башню круглого или прямоугольного сечения. В полых конструкциях загрязненный газ подается потоком снизу вверх и проходит сквозь сечение скруббера, на разных уровнях которого форсунки распыляют поглощающую жидкость. Скорость перемещения очищаемого газа составляет 1,5 м/с.

Более качественная предварительная очистка достигается посредством использования скрубберов с насадкой. Насадка изготавливается из кокса или кварца и орошается через специальные распределительные устройства. В такие устройства газ можно подавать со скоростью более 1,25 м/с.

Для того чтобы улавливать частицы пыли из газового потока при помощи жидкости, используются скрубберы-пылеуловители.

Преимущества скрубберов-пылеуловителей:

- улавливание частиц, размер которых составляет 0,1 мкм;
- невысокая стоимость аппаратов;
- высокая эффективность пылеулавливания в отличие от сухого метода;
- возможность использования аппаратов для увлажнения и охлаждения газов.

Существует три пути осуществления контакта запыленного потока газа с жидкостью.

Газопылевой поток подается в жидкость, в ней он дробится на пузырьки, в которые заключаются частицы пыли. Когда эти пузырьки двигаются сквозь жидкость, частицы смачиваются и выводятся из газового потока. По такому принципу работают пенные (рис. 2.9, 2.10) и барботажные пылеуловители.

Очищаемый газовый поток направляется в аппарат, где находится промывная жидкость, и ударяется о поверхность этой жидкости. При этом удаление частиц пыли происходит вследствие столкновения их с поверхностью жидкости или ее каплями.

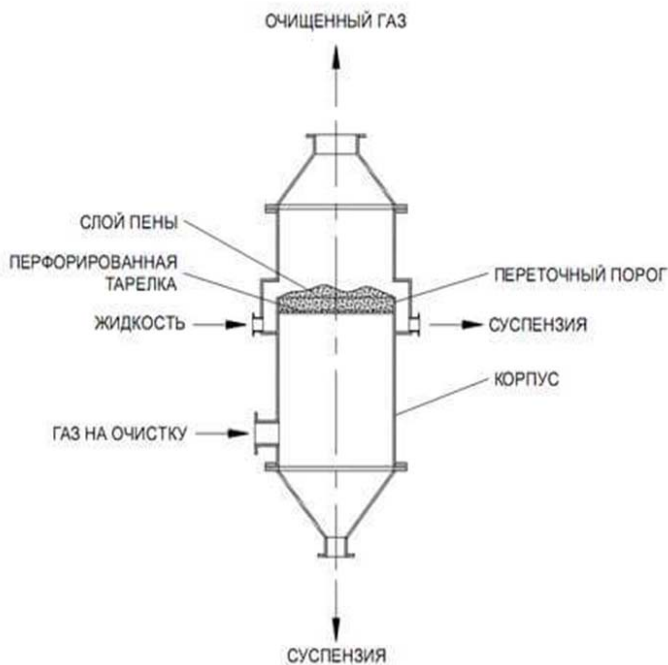


Рис. 2.9. Принцип действия пенного пылеуловителя⁷

⁷ Принцип действия пенного пылеуловителя // Vuzlit : сайт. URL: vuzlit.ru/790923/tsentrobeznye_skrubbery (дата обращения: 24.10.2021).

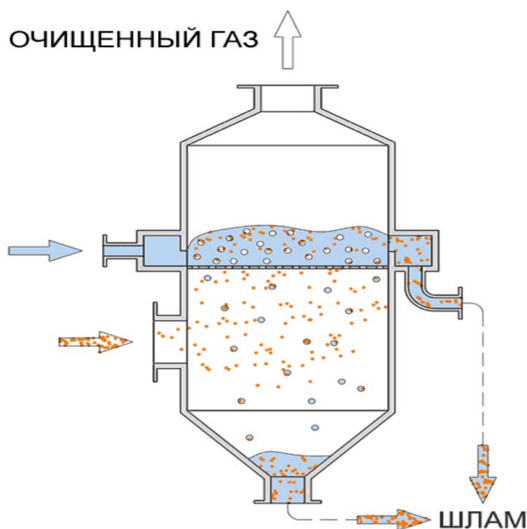


Рис. 2.10. Принцип действия пенного скруббера⁸

При таком способе осаждение частиц происходит, как правило, на поверхности капель. Среди таких аппаратов следует выделить полые скрубберы, скрубберы ударного действия, а также скоростные турбулентные пылеуловители. В данных аппаратах поверхность и внутренние элементы аппарата орошаются жидкостью. При этом пленка жидкости захватывает частицы пыли, которые выводятся из газового потока. Таким образом работают скрубберы с насадкой и мокрые циклоны.

Помимо вышеперечисленного, некоторые аппараты работают благодаря комбинации нескольких способов в одном аппарате. Именно поэтому не получится рассчитать основные параметры мокрого пылеуловителя, а также эффективность его работы по определенной методике.

Насадочные скрубберы. Насадочные скрубберы отличаются от полых скрубберов тем, что по их сечению имеются насадки разного типа. Такие аппараты имеет смысл использовать только для улавливания такой пыли, которая хорошо смачивается жид-

⁸ Принцип действия пенного пылеуловителя // Vuzlit : сайт. URL: vuzlit.ru/790923/tsentrobezhnje_skrubbery (дата обращения: 24.10.2021).

костью. Особенно это касается тех случаев, когда процесс очищения сопровождается абсорбцией или охлаждением газов. В таких аппаратах может быть поперечное, прямоточное или противоточное орошение.

Насадочный скруббер, имеющий поперечное сечение, использует на 40 % меньше жидкости, чем противоточный. К тому же такой скруббер обладает меньшим гидравлическим сопротивлением.

Насадка имеет такие параметры:

- удельная поверхность a – геометрическая поверхность тел;
- объем пустот s_0 ;
- диаметр, который находится по формуле $d_3 = 4s_0 / a$.

Тарельчатые скрубберы. Тарельчатые скрубберы работают по такому принципу: очищаемые газы взаимодействуют с жидкостью на тарелках разной конструкции, при этом взаимодействие зависит от того, какова скорость запыленного потока. Если скорость газа небольшая, то газовый поток попадает в жидкость в виде пузырьков. При этом частицы пыли, размер которых более 5 мкм, остаются на поверхности этих пузырей.

Однако большую эффективность имеют пенные аппараты. Они работают с потоком запыленного газа, скорость которого превышает 5 м/с. Таким образом удается улавливать частицы пыли, размер которых составляет до 2 мкм.

Стадии процесса пылеулавливания в тарельчатых скрубберах:

- осаждение пыли на нижней поверхности тарелки;
- улавливание пыли в тот момент, когда поток газа входит в слой пены;
- осаждение пыли в слое пены.

Основными достоинствами тарельчатых скрубберов являются достаточно равномерное распределение жидкости в аппарате и небольшое гидравлическое сопротивление. Среди недостатков следует выделить невысокую нагрузку по жидкости, а также небольшую эффективность при улавливании частиц, размер которых не превышает 5 мкм.

Скрубберы ударно-инерционного действия. Скрубберы ударно-инерционного действия являются аппаратами, работа которых основана на контакте запыленного газа и жидкости при помощи удара

пылегазового потока об жидкость. Благодаря этому возникают капли, размер которых составляет от 300 до 400 мкм.

Среди достоинств аппарата необходимо выделить то, что благодаря высокой скорости потока газа они имеют небольшие размеры. К тому же такие скрубберы обладают хорошей степенью очистки, а также с их помощью можно очищать газ, содержащий огромное количество частиц пыли.

Основной особенностью таких аппаратов является то, что жидкость в них циркулирует очень быстро, при том, что в аппарате не предусмотрено никаких устройств, которые обладают закручивающим действием. Самыми распространенными аппаратами такого типа являются скрубберы Дойла и ротоклоны.

В скрубберах Дойла поток запыленного газа попадает в аппарат через трубы. Конусы, расположенные в нижней части этих труб, увеличивают скорость газа до 55 м/с. После этого поток газа ударяется о поверхность жидкости. Таким образом создается завеса из капель. Для того чтобы такие аппараты функционировали нормально, нужно, чтобы в них поддерживался постоянный уровень жидкости.

В ротоклоне располагаются изогнутые щелевые каналы, которые частично заполнены жидкостью. Запыленный газовый поток ударяется о поверхность жидкости, захватывая ее часть и заставляя ее двигаться по нижней направляющей канала. Скорость движения составляет от 10 до 15 м/с. После этого жидкость отбрасывается на верхнюю направляющую и потом опускается в качестве сплошной водяной завесы. Для того чтобы предотвратить брызгоунос, нужно установить каплеуловитель. Шлам, который скапливается на дне скруббера, периодически удаляется при помощи скребкового транспортера. Ротоклоны в настоящее время применяются в промышленности крайне редко.

Газопромыватели-дезинтеграторы. Газопромыватели-дезинтеграторы осуществляют мокрую очистку газа. Принцип работы такой установки заключается в том, что при вращении ротора, оснащенного стержнями, стержни ротора проходят в зазорах между статично закрепленными стержнями на стенках корпуса. В процессе данного движения стержни ротора тонко распыляют жидкость в газе. Микроскопические капли жидкости смачивают пыль, которая содержится в газе, и выводятся вместе. Данная установка объединяет

функции пылеотделителя и вентилятора. До подачи в дезинтегратор очищаемый газ охлаждают приблизительно до 50–60 °С. После обработки в дезинтеграторе газ очищают от тумана. В настоящее время дезинтеграторы активно вытесняются более современными электрофильтрами.

Мокрое пылеотделение (абсорбционная очистка газов). Мокрое обеспыливание – это соединение частиц пыли и мелких капель воды, в результате чего частицы пыли отделяются от газа.

Для очищения газа его пропускают против направления потока распыленных капель воды (рис. 2.11).

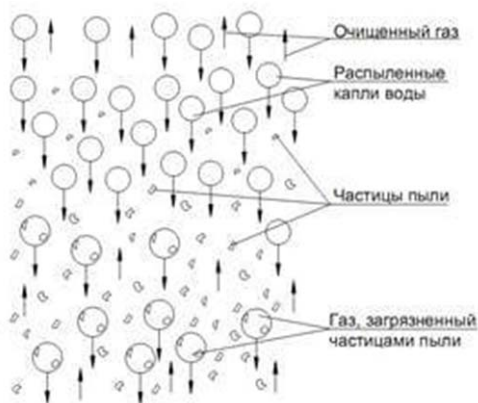


Рис. 2.11. Направления потока распыленных капель воды⁹

В процессе протекания газа относительно капель инертные частицы не меняют направление своего движения и сталкиваются с каплями. Благодаря этому частицы пыли слепиваются с каплями и осаждаются.

Чем тоньше капли воды и чем быстрее частицы пыли смачиваются этими каплями, тем лучше происходит их осаждение. Данный метод осаждения подходит для частиц размером 0,5–500 мкм.

Аппараты, которые предназначены для осаждения методом мокрого пылеотделения, называются скрубберами или газоочистителями. Такие аппараты могут иметь различные модификации.

⁹ Направления потока распыленных капель воды. Схема: Скрубберы (Вентури). Пенные фильтры/аппараты // ENCE Gmb : сайт. URL: oil-filters.ru/scrubbers/ (дата обращения: 18.03.2021).

Самым простым скруббером является промывная башня, которая представляет собой трубу, расположенную вертикально. В ней водяные капли напыляются сверху и постепенно опускаются вниз. Очищаемый газ перемещается против потока тумана водяных капель.

Промывные колонны — это трубы, стоящие вертикально, которые заполнены элементами насадки. Промывная жидкость подается сверху. С помощью нее орошается поверхность насадочных тел. Газ, который содержит пыль, проходит через сыпучие насадки. Частицы связываются с поверхностью воды, а после этого пыль стекает вместе с жидкостью.

Работа ротационного скруббера (рис. 2.12) основана на том, что туман создается при помощи вращающихся дисков и сопла. Газ проходит через туман промывочной жидкости, и частицы пыли связываются с частицами воды. Капли промывной жидкости насыщаются пылью, а после этого осаждаются на металлической ситовой ткани.

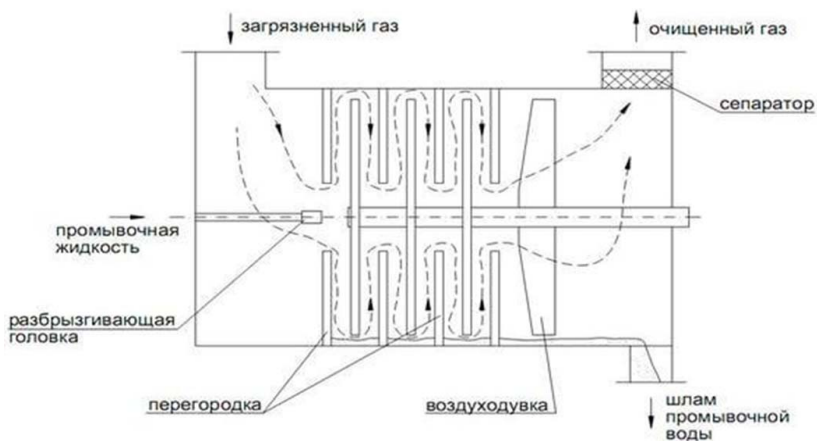


Рис. 2.12. Ротационный скруббер¹⁰

Сепаратор, оснащенный кольцевыми соплами (рис. 2.13), который функционирует по принципу скачка давления, достаточно популярен во многих отраслях промышленности. Такой сепаратор

¹⁰ Схема и описание действия ротационного скруббера: Скрубберы (Вентури). Пенные фильтры/аппараты // ENCE GmbH : сайт. URL: oil-filters.ru/scrubbers/ (дата обращения: 18.03.2021).

используется для осаждения как тонкой пыли, так и примесного газа, и жидкого тумана.

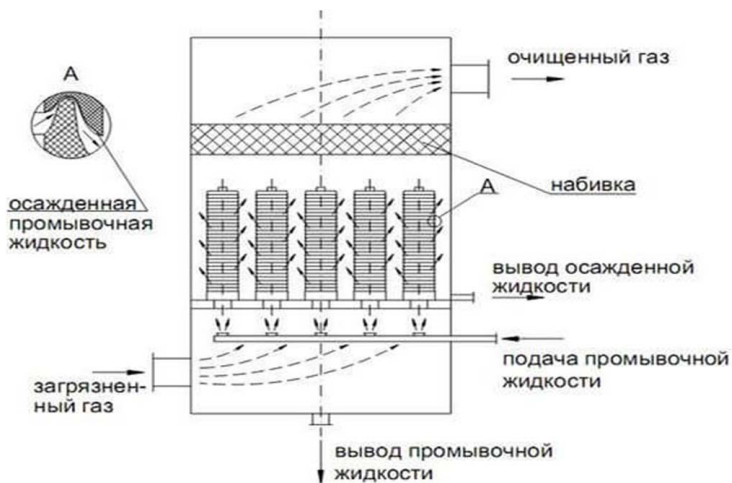


Рис. 2.13. Сепаратор с кольцевыми соплами¹¹

Для того чтобы отделить пыль от газа, промывочная жидкость подается под напором в поток газа. Некоторая часть частиц при этом уже связывается с промывочной жидкостью. Газ, который содержит капли жидкости, нагнетается через зазоры пакетов сопел. Зазоры кольцевых сопел имеют ширину 0,3–1,1 мм. Они имеют такую форму, чтобы газовый поток направлялся по дугообразной траектории. Под воздействием центробежной силы частицы пыли и капли жидкости выносятся на стенки сепаратора, а после этого вытекают из него в виде шлама.

Электрофильтры. Электрофильтры применяются для очистки запыленных газов от наиболее мелких частиц пылей и туманов. Промышленные электрофильтры делятся на две группы: одноступенчатые, в которых одновременно происходят ионизация и очистка воздуха, и двухступенчатые, в которых ионизация и очистка воздуха проводятся в разных частях аппарата.

¹¹ Схема и описание действия сепаратора с кольцевыми соплами: Скрубберы (Вентури). Пенные фильтры/аппараты // ENCE Gmb : сайт. URL: oil-filters.ru/scrubbers/ (дата обращения: 18.03.2021).

По конструкции электрофильтры делятся на пластинчатые и трубчатые, горизонтальные и вертикальные, двупольные и многопольные, одно- и многосекционные, сухие и мокрые.

Постоянный электрический ток высокого напряжения в электрофильтр подают на так называемый коронирующий и осадительный электроды. Электрофильтры обеспечивают высокую степень очистки. Эти фильтры обладают высокой пропускной способностью. Недостатками электрофильтров являются их высокая стоимость и сложность в эксплуатации.

Правила технической эксплуатации газоочистных и пылеулавливающих установок

Газоочистные аппараты по методам очистки подразделяются на шесть групп.

Первая группа – аппараты сухой инерционной очистки газов от пыли (пылеосадительные камеры, жалюзийные и инерционные пылеуловители, циклоны одиночные, групповые и батарейные, дымососы-пылеуловители и др.).

Вторая группа – аппараты мокрой очистки газов от пыли, а в отдельных случаях – от жидких и газообразных примесей (полюе и насадочные скрубберы, барботажные и пенные аппараты, турбулентные газопромыватели, аппараты эжекционного и центробежного действия).

Третья группа – аппараты для очистки газов от пыли (в отдельных случаях – от тумана) методом фильтрации (тканевые, зернистые и волокнистые фильтры и др.).

Четвертая группа – аппараты электрической очистки газов от пыли и тумана (электрофильтры мокрые и сухие различных типов).

Пятая группа – аппараты химических методов очистки газов от газообразных примесей (адсорберы, абсорберы и т. п.).

Шестая группа – аппараты термической и термокatalитической очистки газов от газообразных примесей (печи сжигания, кatalитические реакторы и др.).

Газоочистные установки, предназначенные для охраны атмосферного воздуха от загрязнения, называются санитарными и, как правило, устанавливаются в конце технологического процесса.

Газоочистные установки, предназначенные для очистки газов от примесей, мешающих проведению определенной стадии технологического цикла производственного процесса и размещенные между соответствующими ступенями этого цикла, называются технологическими газоочистными установками.

Газоочистные установки, предназначенные для технологических целей, выброс газов после которых отводится в атмосферу, одновременно являются санитарными газоочистными установками. В отдельных специфических случаях вопрос об отнесении технологических газоочистных установок к санитарным решается местными органами государственной инспекции газоочистки совместно с предприятием.

Неэффективными газоочистными установками считаются такие установки, которые не обеспечивают очистку газов от вредных веществ или их обезвреживание до концентраций, установленных проектом.

Неисправными газоочистными установками считаются установки, имеющие повреждения механических, электрических или других узлов, приводящие к снижению эффективности или надежности работы оборудования либо создающие опасные условия работы для обслуживающего персонала.

Выход из строя газоочистой установки квалифицируется как авария и требует составления аварийного акта по установленной форме с указанием необходимых мероприятий.

Требования к персоналу, эксплуатирующему газоочистные установки

Персонал, занятый эксплуатацией газоочистных установок, обязан знать их устройство и правила эксплуатации, знать и выполнять правила и соответствующие производственные инструкции, обеспечивать соблюдение оптимальных режимов и установленных параметров работы газоочистных установок, поддерживать газоочистные установки в исправном состоянии, исключать случаи травмирования людей и аварийного выхода оборудования из строя.

Предприятия обязаны проводить техническое обучение производственного персонала, занятого эксплуатацией газоочистного оборудования, по соответствующим программам и в предусмотрен-

ные сроки с учетом особенностей установленного газоочистного оборудования и конкретных условий эксплуатации.

Организация обучения персонала, а также проверка его знаний квалификационными комиссиями должны производиться в соответствии с порядком, принятым на предприятии.

Требования к газоочистным установкам в период строительства, монтажа и сдачи в эксплуатацию

Строительство и монтаж газоочистных установок, а также их испытание и приемка в эксплуатацию должны производиться в соответствии со строительными нормами и правилами (СНиП III-31-74 и др.), а также требованиями к монтажу завода-изготовителя или проектной организации.

Монтаж опытных (не серийных) или особо сложных газоочистных установок должен производиться под наблюдением шеф-инженера завода-изготовителя или проектной, пуско-наладочной организации.

Строительно-монтажные (ремонтные) организации обязаны предъявлять предприятию для осмотра и приемки заканчиваемые строительством (ремонтom) узлы оборудования и сооружения, производить необходимые испытания и проверку их работоспособности и по завершении строительства и монтажа (ремонта) осуществлять передачу предприятию в эксплуатацию.

При сдаче в эксплуатацию вновь смонтированных или реконструированных газоочистных установок строительно-монтажные организации обязаны передать предприятию следующую техническую документацию:

- рабочие чертежи установки газоочистки с относящимися к ней сооружениями и коммуникациями; в чертежах должны быть указаны допущенные отступления от проекта и к ним приложены акты согласования этих отступлений с проектной организацией (автором проекта);
- акты на выполненные скрытые работы (сооружение фундаментов и других подземных объектов, производство ревизии оборудования, электроаппаратуры и арматуры перед монтажом и т. д.);
- акты испытаний аппаратов и сооружений на плотность и прочность в соответствии с установленными нормами;

- акты испытаний оборудования (насосов, вентиляторов, дымососов и т. д.) на холостом ходу в соответствии с требованиями заводов-изготовителей;
- протоколы проверки правильности монтажа и испытания установленного электрооборудования (подстанций, трансформаторов, кабельных сетей и т. д.);
- инструкции и технические паспорта на смонтированное оборудование, а также инструмент и запасные части, входящие в комплект поставки заводов-изготовителей этого оборудования.

Приемка в эксплуатацию вновь смонтированного или реконструированного газоочистного оборудования производится специальной комиссией, состав которой утверждается руководством предприятия.

Администрация предприятия обязана не позднее чем за две недели до начала работы комиссии по приемке в эксплуатацию газоочистных установок оповестить об этом местное подразделение госинспекции газоочистки.

Принимать в эксплуатацию сооружения с недоделками (с отступлениями от проектов) или построенные в неполном комплексе без согласования с проектной организацией запрещается.

Комиссия в период приемки в эксплуатацию газоочистных установок проверяет следующее:

а) правильность выполнения строительно-монтажных работ и отсутствие не согласованных с проектной организацией отступлений от рабочих чертежей;

б) качество выполненных работ и полноту проведения необходимых испытаний установленного оборудования и сооружений;

в) наличие предусмотренных проектом контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации, необходимых для обеспечения нормальной работы установки;

г) передаваемую строительной организацией техническую документацию на выполненные работы, а также промежуточные акты проверки работоспособности оборудования.

Разрешение на ввод в эксплуатацию сооруженной или реконструированной газоочистной установки выдается руководством предприятия на основании решения приемочной комиссии и приемочного акта, подписанного всеми ее членами.

Требования к газоочистным установкам в период наладки и проверки эффективности

Газоочистные установки должны подвергаться наладке и проверке эффективности не реже одного раза в год, а также в следующих случаях:

- после окончания строительства;
- после реконструкции или капитального ремонта;
- при изменении технологического режима работы пылегазовыделяющего агрегата;
- при очевидном снижении эффективности (например, по заметному изменению внешнего вида факела, выходящего из дымовой трубы).

При оценке эффективности работы газоочистной установки должны определяться следующие параметры:

- количество газа на входе и выходе из установки;
- количественный и качественный состав вредных веществ на входе и выходе из установки;
- гидравлическое сопротивление всей газопылеулавливающей установки и отдельных ее аппаратов;
- температура газа на входе и выходе из установки;
- степень очистки газа установкой в целом и каждым аппаратом в отдельности;
- другие специфические показатели, характерные для определенных типов газоочистного оборудования.

Все измеренные показатели должны сравниваться с проектными данными, а также с результатами предыдущих испытаний.

На основании полученных данных по испытанию газоочистной установки принимаются решения о необходимости ее ремонта, совершенствования или замены на более эффективную.

Общие требования в период эксплуатации газоочистных установок

Газоочистные установки должны действовать надежно и бесперебойно, обеспечивая эффективную очистку газа, отходящего от технологического агрегата в периоды его работы.

Эксплуатация технологического оборудования при отключенных газоочистных установках запрещается.

Имеющиеся газопылеулавливающие установки должны эксплуатироваться с рабочими показателями, не уступающими проектным.

При этом следует соблюдать установленный для них оптимальный режим эксплуатации согласно производственным инструкциям и правилам, которые должны отражать рекомендации научно-исследовательских, проектных и пуско-наладочных организаций, а также заводов-изготовителей.

Обслуживающим персоналом в ходе эксплуатации газоочистой установки систематически ведется оперативный журнал, в который заносятся основные показатели, характеризующие работу установки, наблюдаемые отклонения от установленного оптимального режима, обнаруженные неисправности, а также случаи отключения отдельных агрегатов или вывод из работы всей газоочистой установки с указанием причин и принятых мер.

Запрещается увеличение производительности технологических агрегатов, сопровождающееся увеличением объема отходящих газов или концентрации в них вредных веществ, без одновременного наращивания мощности существующих газоочистных установок.

В ходе эксплуатации газоочистных установок, предназначенных для очистки газов с высоким содержанием горючих (взрывоопасных) компонентов, следует особо тщательно обеспечивать установленные параметры давления газа и герметичность сооружений, а также правильную продувку коммуникаций и аппаратов во избежание опасности взрывов газа и пожаров, одновременно предусматривать ограждение источников открытого огня и соблюдение других специфических требований.

В ходе эксплуатации газоочистных установок, предназначенных для очистки газов с высоким содержанием токсичных примесей, следует особо тщательно обеспечивать герметичность сооружений, эффективную вентиляцию рабочих помещений, лабораторный контроль за уровнем загрязнения атмосферного воздуха на рабочих местах, применение в необходимых случаях газозащитных средств, а также соблюдение других требований.

В ходе эксплуатации газоочистных установок, предназначенных для очистки газов от химически агрессивных или абразивных компонентов, следует особо тщательно следить за сохранностью при-

менных защитных покрытий и отсутствием разрушений металла и оборудования, предупреждая преждевременный выход их из строя.

Все газоочистные установки должны быть зарегистрированы в местных органах госинспекции газоочистки.

На каждую газоочистную установку предприятием составляется технический паспорт, в котором указываются основные характеристики и параметры работы примененного оборудования.

Газоочистные установки должны быть обеспечены запасными частями и материалами в количестве, достаточном для их нормальной эксплуатации и своевременного ремонта, согласно перечню, указанному в паспорте установки.

Газоочистные установки должны подвергаться техническому осмотру для оценки их состояния и работоспособности не реже одного раза в три месяца комиссиями, состав которой определяется руководством предприятия.

По результатам осмотра составляется акт и намечаются мероприятия по устранению обнаруженных недостатков. Акт осмотра прилагается к паспорту газоочистной установки.

Каждый случай технической неисправности или нарушения режимов работы газоочистной установки, приведший к снижению эффективности ее работы, остановке или аварии, должен быть исследован предприятием, также должны быть разработаны мероприятия по приведению газоочистной установки в исправное состояние и по предупреждению в дальнейшем подобных случаев.

О каждом случае остановки системы газоочистки продолжительностью более одного часа при работающем технологическом агрегате предприятие обязано телеграммой оповещать госинспекцию.

Отключения газоочистных установок из экономических или других соображений, не предусмотренных технологическим процессом, категорически запрещаются.

Требования к эксплуатации аппаратов сухой инерционной очистки газов

Перед пуском аппаратов в работу необходимо убедиться в следующем:

а) уровень пыли в накопительных бункерах находится в допустимых пределах;

б) механизмы удаления пыли из пылеуловителей и средства транспортировки ее исправны и подготовлены к работе;

в) ремонтные работы закончены, пылеулавливающий аппарат исправен и готов к эксплуатации (люки закрыты, леса демонтированы, посторонние предметы убраны).

В период эксплуатации необходимо:

а) следить за герметичностью аппаратов и коммуникаций, не допуская утечек газа (при работе под давлением) или недопустимых подсосов воздуха (при разряжении);

б) обеспечивать своевременное удаление из бункеров уловленной пыли и ее транспортировку в предназначенные места;

в) не допускать слеживания и цементации пыли в системах пыленакопления и пылеуборки, прибегая для этого к предусмотренным методам, в том числе поддерживая температуру всех узлов установки выше точки росы газа.

Требования к эксплуатации аппаратов фильтрации

Перед пуском в работу необходимо убедиться в следующем:

а) фильтрующие элементы аппаратов надежно уплотнены в местах крепления, фильтрующие поверхности этих элементов достаточно чистые, не деформированы и не повреждены;

б) система регенерации фильтрующих элементов и система пылеуборки исправны и готовы к работе;

в) ремонтные работы закончены, газоочистной аппарат исправен и готов к эксплуатации.

В период эксплуатации необходимо:

а) контролировать гидравлическое сопротивление аппаратов фильтрации, которое должно меняться в установленных пределах при заданной газовой и пылевой нагрузках. Это гарантирует эффективную работу фильтрующих элементов. Возрастание гидравлического сопротивления происходит в результате разрушения фильтрующих элементов. Эксплуатация аппаратов фильтрации в этих условиях недопустима, требуются их отключение и ремонт;

б) поддерживать предусмотренными средствами температуру очищаемого газа в установленных пределах, что гарантирует прочность и долговечность фильтрующих элементов, исключает опас-

ность конденсации на них влаги и цементирувания отложений пыли и обеспечивает устойчивую регенерацию элементов фильтрации;

в) обеспечивать требуемую периодичность и эффективность работы имеющихся устройств по регенерации фильтрующих поверхностей аппаратов фильтрации и устройств по пылеудалению и транспортировке пыли.

Требования к эксплуатации аппаратов электрической очистки газов

Перед пуском аппаратов в работу необходимо убедиться в следующем:

а) осадительные и коронирующие электроды аппарата не деформированы, правильно отрихованы, не имеют на поверхности отложений улавливаемого продукта;

б) система орошения мокрых или механизмы встряхивания сухих электрофильтров отрегулированы и работают нормально;

в) ремонтные работы закончены, электрофильтры, включая вспомогательные устройства и агрегаты электропитания, исправны и готовы к работе.

Эксплуатация аппаратов электрической очистки газов должна производиться в строгом соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей.

В период эксплуатации необходимо:

а) контролировать оптимальную газовую и пылевую нагрузку на аппараты (установленную скорость газа в рабочей зоне), что проверяется возможностью аппарата нести оптимальную электрическую нагрузку, а также установленное гидравлическое сопротивление аппаратов;

б) следить за поддержанием установленного электрического режима работы электрофильтра (величина тока и напряжения). Резкие нарушения электрического режима (частые пробой и отключения электрофильтра) свидетельствуют о возможной деформации электродной системы или о больших скоплениях неотряхиваемых отложений пыли. Эксплуатация аппарата в данных условиях невозможна, требуются его отключение и ремонт;

в) поддерживать предусмотренными средствами температуру очищаемого газа в установленных пределах и нормальную работу

системы пылеотряхивания (для сухих электрофильтров) или режима орошения и промывки электродов (для мокрых электрофильтров);

г) осуществлять удаление из аппаратов уловленной пыли (пульпы) и транспортировку ее в установленные места.

Требования к эксплуатации аппаратов мокрой очистки газов

Перед пуском аппаратов в работу необходимо убедиться в следующем:

а) уровень воды или другого орошающего реагента в гидрозатворах аппаратов находится в оптимальных пределах;

б) системы орошения аппаратов и шламоуборки исправны и подготовлены к работе;

в) ремонтные работы закончены, аппараты, включая вспомогательное оборудование и коммуникации, исправны и готовы к эксплуатации.

В период эксплуатации необходимо:

а) следить за герметичностью аппаратов и коммуникаций, не допуская утечек газа, орошающей жидкости или чрезмерных подсосов воздуха;

б) обеспечивать оптимальный водный режим работы аппаратов мокрой газоочистки, особенно пенных аппаратов и ротоклонов, следя за достаточным орошением газа в турбулентных газопромывателях, в насадочных скрубберах и других аппаратах, а также обеспечивать постоянное удаление из них шламовой пульпы и транспортировку ее в предназначенные места;

в) обеспечивать оптимальный газовый режим работы, в особенности в турбулентных газопромывателях с регулируемым перепадом давления, который определяет эффективность очистки газа.

Бланк выполнения задания 2

Форма 2.1

Характеристика оборудования для очистки вредных выбросов от пылей

Наименование оборудования	Основные технические характеристики	Требования к эксплуатации	Область применения	Методы испытаний
Сухие пылеуловители				
Мокрые пылеуловители				
Электрофильтры				
Фильтры				

Критерии оценки

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если правильно оформлены отчетные таблицы.

Оценка «не зачтено» – если неправильно оформлены отчетные таблицы.

Тема 3. Методы очистки воздушных вредных выбросов от газопарообразных примесей

Практическое задание 3 Характеристика оборудования для очистки вредных выбросов от газопарообразных примесей

Цель задания – получить практические навыки организации применения оборудования для очистки вредных выбросов от газопарообразных примесей.

Алгоритм выполнения практического задания

1. Изучите теоретическую часть задания.
2. Проведите анализ основных характеристик оборудования для очистки вредных выбросов от газопарообразных примесей.
3. На основании проведенного анализа заполните таблицу «Характеристика оборудования для очистки вредных выбросов от газопарообразных примесей» (форма 3.1).
4. Оформите отчет о практическом задании (отчет включает титульный лист и заполненную форму 3.1) и защитите его у преподавателя.

Теоретическая часть

Адсорбция – поглощение газов или паров из газовых смесей твердым поглотителем (адсорбентом).

Адсорбер – аппарат для поглощения газов или паров из газовых смесей твердыми поглотителями.

Адсорбент – твердый поглотитель для улавливания паров или газов.

Адсорбер с неподвижным адсорбентом – аппарат, в котором слой адсорбента во время технологического процесса не изменяет своего положения.

Адсорбер с движущимся слоем адсорбента – адсорбент, в котором слой адсорбента перемещается через аппарат сверху вниз.

Адсорбер с псевдооживленным слоем адсорбента – адсорбер, в котором частицы адсорбента интенсивно перемещаются в потоке в различных направлениях.

Десорбция – термическая регенерация отработанного адсорбента, сопровождающаяся выделением поглощенных вредных веществ.

ГОСТ 12.2.003–91. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности

Адсорбцию осуществляют в основном в адсорберах периодического действия.

Десорбцию ведут обычно острым паром, подаваемым снизу, который выносит из сорбента поглощенный им продукт и поступает в холодильник-конденсатор, где продукт отделяется от воды.

Адсорберы периодического действия отличаются простотой и надежностью. Недостатками их являются периодичность процесса, низкая производительность и относительно небольшая эффективность.

Непрерывные процессы адсорбционной очистки газов осуществляются в кипящем слое адсорбента.

Непрерывные процессы адсорбционной очистки газов дают возможность обрабатывать относительно небольшим количеством адсорбента большие объемы газов.

Адсорбционные процессы с аппаратами периодического действия особенно перспективны для рекуперации органических растворителей, многие из которых являются озоноразрушающими и поэтому представляют определенную опасность для окружающей среды. В связи с этим рекуперация таких веществ из вентиляционных промышленных выбросов может не только вернуть в производство ценные продукты, но и предотвратить загрязнение атмосферного воздуха.

Каждый адсорбер, используемый автономно или в составе технологического комплекса, укомплектовывают эксплуатационной документацией (ЭД), содержащей требования (правила), предотвращающие возникновение опасных ситуаций при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации.

Адсорбер должен отвечать требованиям безопасности в течение всего периода эксплуатации при выполнении потребителем требований, установленных в ЭД.

Конструкция адсорберов должна исключать на всех режимах работы нагрузки на детали и сборочные единицы, способные вызвать разрушения, представляющие опасность для работающих.

При возможном возникновении нагрузок, приводящих к опасным для работающих разрушениям отдельных деталей или сборочных единиц, адсорбер должен быть оснащен устройствами, предотвращающими возникновение разрушающих нагрузок, а детали и сборочные единицы должны быть ограждены или расположены так, чтобы их разрушающиеся части не создавали травмоопасных ситуаций.

Конструкция адсорбера и его отдельных частей должна исключать возможность их падения, опрокидывания и самопроизвольного смещения при эксплуатации и монтаже (демонтаже). Если из-за формы адсорбера, распределения масс отдельных его частей и (или) условий монтажа (демонтажа) не может быть достигнута необходимая устойчивость, то должны быть предусмотрены средства и методы закрепления, соответствующие требованиям, содержащимся в ЭД на конкретный адсорбер.

Элементы конструкции адсорберов не должны иметь острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих.

Части адсорбера (в том числе трубопроводы гидро-, паро-, пневмосистем, предохранительные клапаны, кабели и др.), механическое повреждение которых может вызвать возникновение опасности, должны быть защищены ограждениями или расположены так, чтобы предотвратить их случайное повреждение работающими или средствами технического обслуживания.

Конструкция адсорбера должна исключать самопроизвольное ослабление или разъединение креплений сборочных единиц и деталей.

Адсорбер должен быть пожаро-, взрывобезопасным в условиях эксплуатации.

Конструкция адсорбера должна быть выполнена так, чтобы исключить накопление зарядов статического электричества в количестве, представляющем опасность для работающего, и возможность пожара и взрыва.

Адсорбер не должен являться источником шума и вибрации. Конструкция адсорбера должна быть выполнена так, чтобы концен-

трация вредных веществ в рабочей зоне, а также их выбросы в природную среду в процессе эксплуатации не превышали допустимых значений, установленных ГОСТ 12.1.005–88 и ГОСТ 17.2.3.02–2014.

Адсорбер, предназначенный для работы с взрывоопасной газовой средой, должен отвечать требованиям ГОСТ 12.1.010–76 и быть оснащен устройствами, отводящими направленную взрывную волну.

Уплотнения адсорбера, предназначенные для работы с пожаро- и взрывоопасными средствами, должны препятствовать образованию горючих и взрывоопасных смесей в рабочем и нерабочем состоянии адсорбера.

Конструкция адсорбера должна исключать возможность соприкосновения с горячими частями или нахождение в непосредственной близости от таких частей, если это может повлечь за собой травмирование или перегрев работающего.

Температура наружной поверхности оболочки с теплоизоляцией в местах обслуживания должна быть не более 45 °С.

Теплоизоляция адсорбера должна быть изготовлена из минеральных или органических теплоизолирующих материалов. Слой теплоизоляции в случае необходимости должен быть защищен водонепроницаемой оболочкой.

Если назначение адсорбера и условия его эксплуатации (например, использование вне производственных помещений) не могут полностью исключить контакт работающего с горячими частями адсорбера, то ЭД должна содержать требование об использовании средств индивидуальной защиты.

Конструкция рабочего места, его размеры и взаимное расположение элементов (органов управления, средств отображения информации, вспомогательного оборудования и др.) должны обеспечивать безопасность при использовании адсорбера по назначению, техническом обслуживании, ремонте и уборке с учетом веществ, применяемых в технологическом процессе, а также соответствовать эргономическим требованиям по ГОСТ 12.2.049–80.

Необходимость наличия на рабочих местах средств пожаротушения и средств, используемых в аварийных ситуациях, должна быть установлена в стандартах, нормативных документах на адсорберы конкретных групп, видов, моделей (марок).

Если расположение рабочего места вызывает необходимость перемещения и (или) нахождения работающего выше уровня пола, то конструкция адсорбера должна предусматривать площадки, лестницы, перила, другие устройства, размеры и конструкция которых должны исключать возможность падения работающих и обеспечивать удобное и безопасное выполнение трудовых операций, включая операции по техническому обслуживанию.

Конструкция адсорберов должна обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных в ЭД.

Адсорберы должны быть обеспечены сигнализирующими и блокирующими устройствами, срабатывающими при нарушении установленного технологического режима эксплуатации.

К обслуживанию адсорберов допускается обслуживающий персонал, изучивший их устройство и приемы обслуживания.

Конструкция адсорберов должна быть рассчитана на предельное максимальное рабочее (избыточное) давление или разрежение, которое может возникнуть при их эксплуатации.

Отключение адсорберов из экономических соображений или по другим причинам, не предусмотренным технологическим процессом, запрещается.

Работы, связанные с включением, эксплуатацией, ремонтом адсорберов, проводят с соблюдением действующей на конкретном предприятии инструкции по технике безопасности.

Все виды работ внутри корпуса адсорбера проводят с использованием спецодежды и других средств защиты работающих по ГОСТ 12.4.011–89 в соответствии с порядком и правилами по технике безопасности, установленными на конкретном предприятии.

Адсорбенты – пористые материалы:

- с микропорами – характеризуются заполнением их объема адсорбируемыми молекулами;
- с переходными порами (мезопорами) – слоевая моно- и полимолекулярная адсорбция, механизм капиллярной конденсации (когда давление процесса меньше давления насыщенного пара);

- с макропорами — транспортируют адсорбируемые молекулы в микропоры.

Адсорбенты:

1. Активные угли. Они гидрофобны, и их используют для рекуперации и санитарной очистки газов разной влажности. Марки: БАУ — для очистки воды, напитков; СКТ — для очистки от органических растворителей; АГ — для адсорбции газов; АРТ — для очистки от летучих растворителей и для рекуперации; САУ, КАУ, АР — для рекуперации.

2. Силикагели — гидратированные аморфные кремнеземы. КСК — крупный силикагель крупнопористый; КСС — крупный силикагель среднепористый; МСМ — мелкий силикагель мелкопористый; шихта — средняя фракция силикагелей (ШСК, ШСС, ШСМ). Применяют для осушки газов, поглощения паров полярных органических растворителей. По сравнению с углями не горючи, низкая температура регенерации, низкая стоимость, высокая прочность к истиранию, разрушаются под действием капельной влаги.

3. Алюмогель — активный оксид алюминия. Стоек к воздействию капельной влаги. Применяют для осушки и для поглощения полярных органических растворителей.

4. Цеолиты — алюмосиликаты, содержащие оксиды щелочных и щелочноземельных металлов. Существуют синтетические и природные (клиноптилолит, модернит и др.). А и X — типы кристаллической решетки. КА применяют только для осушки, NaA — поглощает сероводород, сероуглерод, аммиак, этан, пропилен, метан, СО и др. СаА поглощает C_xH_y и спирты. СаХ и NaХ сорбируют все молекулы, нефтеновые и ароматические углеводороды и др.

Часто используются активированные углеродные волокна. Их достоинства: имеют фильтрующие и адсорбционные свойства; высокая скорость процессов адсорбции-десорбции; химическая, термическая и радиационная стойкость.

Адсорберы:

1. Адсорберы периодического действия: вертикальные (рис. 3.2), горизонтальные (рис. 3.3), кольцевые адсорберы и трубчатые теплообменники.

Производительность $\leq 10\,000\text{ м}^3/\text{ч}$.

Могут быть с неподвижным или кипящим слоем адсорбента.

Адсорберы с неподвижным слоем сорбента используются:

- когда обрабатывается большое количество газа;
- если газ содержит большие концентрации сорбата;
- если стоимость сорбента превышает стоимость регенерации.

Достоинства неподвижного слоя: нет истирания частиц сорбента; достигается высокая степень очистки и осушки.

Недостатки адсорберов периодического действия: небольшие скорости газового потока в шихте; относительно малая доля угля участвует в процессе.

Аппараты периодического действия:

адсорбция → десорбция → сушка → охлаждение.

Адсорбер полочного типа с неподвижными слоями адсорбента.

Размещая адсорбент в аппарате горизонтально высоким слоем, можно практически устранить влияние неравномерности слоя на степень очистки газов, но при этом возрастает аэродинамическое сопротивление адсорбера (рис. 3.1).

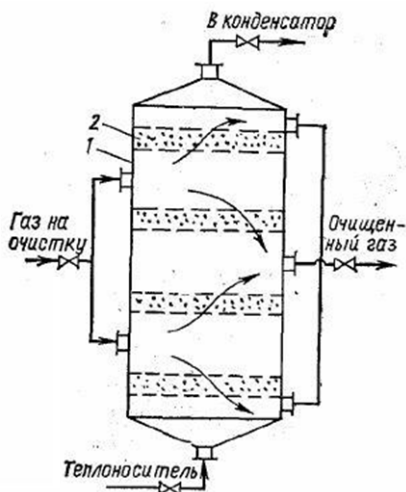


Рис. 3.1. Адсорбер полочного типа с неподвижными слоями адсорбента¹²

¹² Схема и описание действия адсорбера полочного типа с неподвижными слоями адсорбента // ENCE Gmb : сайт. URL: oil-filters.ru/scrubbers/ (дата обращения: 18.03.2021).

Кроме того, частицы адсорбента в высоком слое интенсивно прогреваются из-за слабого теплоотвода из зоны конденсации, что уменьшает сорбционную емкость адсорбента и нежелательно вследствие возможности возгорания. Если концентрация загрязнителя высока, то может стать необходимым и искусственное охлаждение слоя адсорбента.

Для нестационарного адсорбера с закрепленным слоем необходимо определить момент проскока. Проскок происходит, когда изменяющаяся концентрация загрязнителя в выходящем газовом потоке достигает определенного заданного значения, которое может быть, например, равно величине, допускаемой стандартами для данного выброса.

После проскока концентрация растворенного вещества быстро возрастает, так как адсорбционная зона выходит за пределы слоя сорбента; в конечном итоге концентрация растворенного вещества на выходе становится такой же, как и в исходном растворе.

Как правило, время до наступления проскока уменьшается с уменьшением высоты слоя и увеличением размера частиц адсорбента, скорости подачи сырья и концентрации растворенного вещества в нем (рис. 3.2).

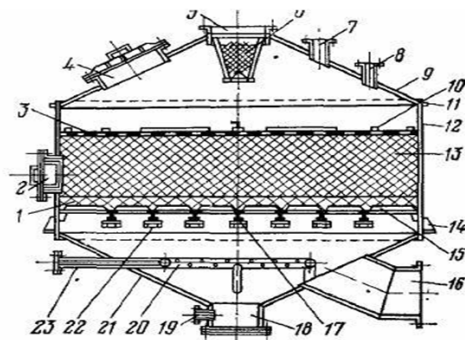


Рис. 3.2. Вертикальный адсорбер периодического действия с неподвижным слоем поглотителя¹³

¹³ Схема и описание действия вертикального адсорбера периодического действия с неподвижным слоем поглотителя // ИнфоПедия : для углубления знаний : сайт. URL: infopedia.su/5x8b1c.html (дата обращения: 18.03.2021).

На рис. 3.2 обозначено: 1 – гравий; 2 – разгрузочный люк; 3, 6 – сетка; 4 – загрузочный люк; 5 – штуцер для подачи исходной смеси; 7 – штуцер для отвода паров при десорбции; 8 – штуцер для предохранительного клапана; 9 – крышка; 10 – грузы; 11 – кольцо жесткости; 12 – корпус; 13 – адсорбент (0,5–1,2 м); 14 – опорное кольцо; 15 – колосниковая решетка; 16 – штуцер для отвода очищенного газа; 17 – балки; 18 – смотровой люк; 19 – штуцер для отвода конденсата и подачи воды; 20 – барботер; 21 – днище; 22 – опоры балок; 23 – штуцер для подачи водяного пара через барботер.

Большое сечение горизонтальных адсорберов (рис. 3.3) не обеспечивает равномерности распределения газовых потоков, а значит, и полноты использования адсорбционной емкости сорбента, поэтому вертикальные адсорберы по сравнению с горизонтальными более рациональны в использовании.

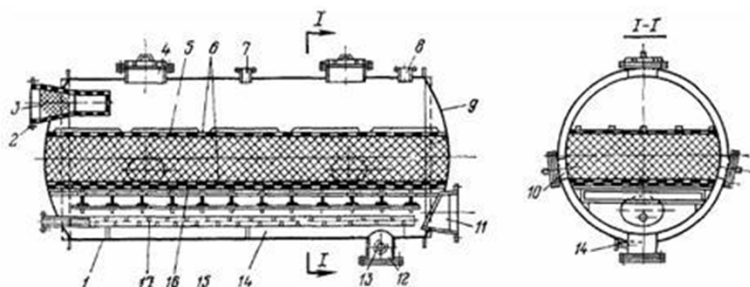


Рис. 3.3. Горизонтальный адсорбер¹⁴

На рис. 3.3 обозначено: 1 – корпус; 2 – штуцер для подачи паровоздушной смеси при адсорбции и воздуха при сушке и охлаждении; 3 – распределительная сетка; 4 – загрузочный люк с предохранительной мембраной; 5 – грузы; 6 – сетки; 7 – штуцер для предохранительного клапана; 8 – штуцер для отвода паров на стадии десорбции; 9 – слой адсорбента; 10 – люк для выгрузки адсорбента; 11 – штуцер для отвода очищенного газа на стадии адсорбции и отработанного воздуха при сушке и охлаждении; 12 – смотровой люк; 13 –

¹⁴ Схема и описание действия горизонтального адсорбера // StudFiles : сайт. URL: studfile.net/preview/3166854/ (дата обращения: 18.03.2021).

угля; 13 – база для цилиндров; 14 – разгрузочный люк; 15 – днище; 16 – штуцер для отвода очищенного и отработанного воздуха и для подачи водяного пара; 17 – штуцер для отвода паров и конденсата при десорбции и для подачи воды.

Конструктивно такие адсорберы сложнее горизонтальных (рис. 3.4), но благодаря большому поперечному сечению шихты более компактны и имеют большую производительность при относительно невысоком гидравлическом сопротивлении.

Исходная смесь движется от периферии к центру, что способствует лучшему использованию адсорбента, так как по мере снижения концентрации целевого компонента в смеси уменьшается и площадь сечения слоя. Применяется для очистки газов от примесей, присутствующих в небольших количествах.

2. Адсорберы непрерывного действия (рис. 3.5).

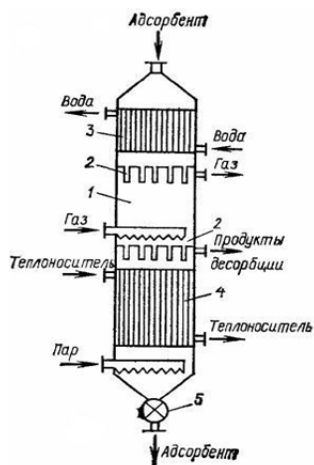


Рис. 3.5. Адсорбер с движущимся слоем адсорбента:
1 – зона адсорбции; 2 – распределительные тарелки;
3 – холодильник; 4 – подогреватель; 5 – затвор¹⁶

Достоинства: процесс более интенсифицирован.

Непрерывные адсорбционные процессы с движущимся слоем сорбента. Достоинства: высокая скорость парогазового потока

¹⁶ Схема и описание действия адсорбера с движущимся слоем адсорбента // StudFiles : сайт. URL: studfile.net/preview/3166854/ (дата обращения: 18.03.2021).

в шихте; высокий коэффициент использования сорбента; отсутствие энергозатрат на периодическое нагревание и охлаждение в одном и том же аппарате; возможность полной автоматизации; простота обслуживания.

Недостатки: высокие требования к прочности зернистого сорбента; дорогостоящий теплоноситель; эрозия аппаратуры; низкий коэффициент теплопередачи, следовательно, требуются большие площади теплообменных поверхностей в колонне (холодильник, десорбер).

Непрерывность процесса может быть достигнута циркуляцией адсорбента в замкнутой системе и распределением в адсорбционной колонне локальных зон, в каждой из которых в оптимальных рабочих условиях осуществляется одна из основных стадий процесса: адсорбция, нагрев и десорбция, охлаждение и т. д.

Адсорбент перемещается в аппарате плотным слоем под действием силы тяжести, что позволяет организовать непрерывную работу. Эти установки целесообразно применять для выделения целевого компонента из газа-носителя с использованием адсорбционной и десорбционной секций.

Адсорбер с псевдооживленным слоем

Достоинства: высокая скорость теплопередачи при использовании охлаждающих трубок для отвода тепла адсорбции. Возможность интенсивного теплоотвода (рис. 3.6).

Недостатки: истирание сорбента.

Используется, когда требуется частая регенерация сорбента. Для адсорбции органических соединений из газов, имеющих очень высокую влажность.

Проблемы сорбционной очистки:

- всегда имеется остаточная концентрация газа-носителя;
- продувка адсорбента приводит к загрязнению чистого газа;
- есть минимальные и максимальные концентрации;
- рентабельность процесса;
- недолговечность сорбента;
- экологичность сорбента и его производительность;
- проблема утилизации токсиканта;
- равномерность распределения температуры в аппарате;

- подбор режима работы (при больших концентрациях загрязняющих веществ – 4-фазный процесс).

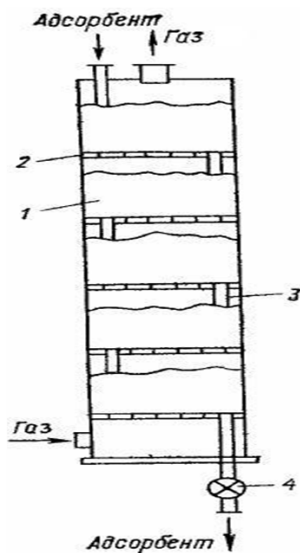


Рис. 3.6. Многоступенчатый адсорбер с псевдооживленным слоем: 1 – псевдооживленный слой; 2 – решетка; 3 – переток; 4 – затвор¹⁷

Четырехфазный цикл: адсорбция, десорбция, сушка, охлаждение. Сушкой удаляют влагу, накопившуюся в фазе десорбции при конденсации острого пара. Охлаждение осуществляется атмосферным воздухом.

Трехфазный цикл: исключается одна из фаз. Охлаждение совмещают с адсорбцией или сушку с десорбцией (если после десорбции адсорбент имеет относительно низкую влажность. В этом случае в фазе охлаждения достигается полная регенерация адсорбента).

Двухфазный цикл: адсорбция и десорбция. ПВС подают в слой в нагретом состоянии (50–60 °С), а затем без подогрева или при температуре 35 °С в течение всего процесса. Так сушку совмещают с охлаждением.

¹⁷ Схема и описание действия многоступенчатого адсорбера с псевдооживленным слоем // StudFiles : сайт. URL: studfile.net/preview/3166854/page:2/ (дата обращения: 18.03.2021).

Рекуперация летучих растворителей по четырехфазному циклу

Исходная смесь (рис. 3.7) подается в адсорбер 1 вентиляторами 2 через рукавные фильтры 3, огнепреградитель 4 с разрывными мембранами и холодильник 5. Число адсорберов определяется в соответствии с графиком работы установки, составляемым в зависимости от производительности одного аппарата и продолжительности отдельных фаз цикла. Очищенный в результате адсорбции газ удаляется из адсорбера. По окончании фазы адсорбции линия подачи исходной смеси (вентилятор, фильтр, огнепреградитель, холодильник) переключается на следующий адсорбер, в котором уже прошли стадии регенерации адсорбента (десорбция, сушка, охлаждение), а в первом аппарате начинается десорбция.

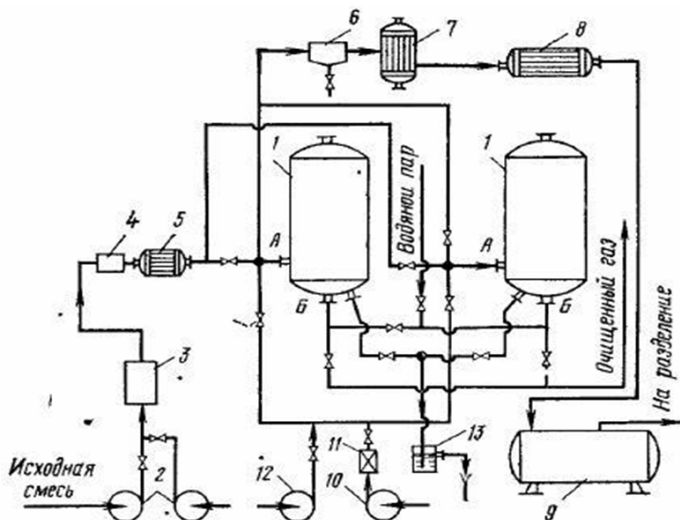


Рис. 3.7. Схема адсорбционной установки периодического действия с неподвижным слоем адсорбента: 1 – адсорбер; 2, 10, 12 – вентиляторы; 3 – фильтры; 4 – огнепреградитель; 5, 8 – холодильник; 6 – разделитель; 7 – конденсатор; 9 – сборник; 11 – калорифер; 13 – гидрозатвор¹⁸

Острый пар давлением 0,3–0,5 МПа подается на десорбцию в адсорбер 1 (давление в адсорбере до 0,05 МПа) через штуцер Б.

¹⁸ Схема адсорбционной установки периодического действия с неподвижным слоем адсорбента // StudFiles : сайт. URL: studfile.net/preview/3166854/page:2/ (дата обращения: 18.03.2021).

Смесь извлекаемого компонента с так называемым динамическим паром (пар, который не конденсируется в слое адсорбента) выходит из адсорбера через штуцер А и поступает через разделитель б в конденсатор 7, холодильник 8 и сборник 9. Из сборника 9 смесь идет на разделение (отстаивание, ректификация и т. д.).

Образовавшийся в адсорбере конденсат греющего пара (часть пара, идущего на нагрев системы до температуры процесса, на десорбцию извлекаемого компонента, на компенсацию отрицательной теплоты смачивания адсорбента водой и на компенсацию потерь тепла) удаляется через гидрозатвор 13. Воздух для сушки вентилятором 10 нагревается в калорифере 11 до 80–100 °С, подается в адсорбер через штуцер А и удаляется из адсорбера через штуцер Б. Вентилятор 12 через штуцер А подает на охлаждение адсорбента атмосферный воздух, который удаляется из адсорбера через штуцер Б (при наличии в схеме только двух адсорберов для этой цели может быть использован вентилятор 10). На этом цикл заканчивается, и адсорбер переключается на стадию адсорбции.

Ниже приводится циклограмма работы рекуперационной установки (табл. 3.1), состоящей из двух адсорберов и работающей по четырехфазному циклу (*a* – адсорбция, *d* – десорбция, *c* – сушка, *o* – охлаждение).

Таблица 3.1

Циклограмма работы рекуперационной установки

Время, ч	1	2	3	4	5	6	7	8
Адсорбер № 1	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>o</i>	–
Адсорбер № 2	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>o</i>	–	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Время, ч	9	10	11	12	13	14	15	–
Адсорбер № 1	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>o</i>	
Адсорбер № 2	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>o</i>	–	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	

Выбор цикла (четырёх-, трёх- или двухфазный) определяется технико-экономическим расчетом, проводимым в каждом конкретном случае в зависимости от назначения процесса (рекуперация, обезвреживание отходов производства, создание безопасных условий труда и т. п.). В практике адсорбционной очистки газов наиболее

лее распространены цилиндрические, вертикальные и горизонтальные адсорберы.

Рекуперация органических растворителей по двухфазному циклу

Органические растворители улавливаются АУ, силикагелями, алюмогелями, цеолитами и т. п.

ПВС с содержанием паров растворителей вентилятором через калориферы подают в адсорберы, заполненные углем АР-3, очищают и удаляют через выхлопную трубу.

В начале процесса ПВС в течение 2 часов подают в слой горячего и влажного поглотителя, подогретого до 50–60 °С, в течение последующего времени подогрев не производят. Таким образом, параллельно с поглощением растворителей в течение первой фазы этого цикла проводят высушивание и охлаждение поглотителя.

По окончании адсорбции поглощенные растворители удаляют из угля острым паром.

Вторая фаза цикла: температура в адсорбере 115–118 °С. Дистиллят (конденсат) из конденсатора через разделитель фаз и расслаиватель передают в хранилище, откуда часть продукта возвращают непосредственно в производство, а часть перекачивают в отделение ректификации для дальнейшей переработки.

Адсорбционная очистка газов. Абсорберы

Абсорбер для очистки газов – это устройство, в котором происходит растворение, поглощение газовых компонентов жидкой фазой. Он служит составной частью любого производственного процесса, рабочий цикл которого предполагает наличие выбросов вредных веществ. Широкое применение абсорберов обуславливают жесткие нормы природоохранного законодательства, а также прямая необходимость многих технологических процессов в данном оборудовании. В качестве примера можно привести получение готового продукта – гидрата аммиака при очистке газов от газообразного аммиака водой.

Краткая теоретическая основа абсорбционной очистки газов

Описываемый процесс делится на физическую и химическую абсорбцию.

В первом случае улов газов происходит без протекания химической реакции, во втором случае – с ее протеканием в слое поглотителя.

Физическая абсорбция чаще всего является обратимым процессом. Для сокращения расходов на абсорбенты при обратимых реакциях применяют абсорбционно-десорбционные установки. В десорберах происходит регенерация улавливающей жидкости, т. е. выделение из нее поглощенного компонента.

Если для сорбции требуются высокое давление и низкая температура, то для обратного течения процесса (десорбции) необходимы высокая температура и низкое давление.

При этом осуществлять процессы регенерации абсорбента целесообразно далеко не всегда. К данным случаям можно отнести отделение отходящих газов в абсорбере от SO_3 для получения раствора H_2SO_4 или абсорбционную очистку газов от выбросов NO_x для выработки HNO_3 .

Одним из важных моментов при очистке воздуха в аппаратах-абсорберах является правильный подбор улавливающей жидкости. Абсорбент выбирают по следующим критериям:

- поглощательная способность;
- зависимость поглощательной способности от изменения термо-барометрических характеристик;
- селективность к выбранному веществу;
- стоимость;
- возможность регенерации.

Принцип работы абсорбционной установки

Скруббер-абсорбер — это устройство, работа которого основана на поглощении вредоносных и нежелательных примесей из газа жидкостью.

Принцип работы основан на последовательном промывании газов жидким поглотителем и переводом загрязняющих компонентов в жидкую фазу.

Для каждого производства и, соответственно, типа загрязнений применяется своя технология очистки. Зачастую производственные линии включают несколько очистных устройств, подсоединенных последовательно. При наличии пыли в газоздушном потоке абсорбционная установка комплексной очистки газа состоит из нескольких ступеней:

- пылеулавливание. Основная цель – полностью удалить механические примеси из потока газа. На данной ступени могут применять скрубберы Вентури, скрубберы с подвижной насадкой, рукавные фильтры, электрофильтры;
- химическая очистка от газовых примесей. Количество и последовательность ступеней химической очистки могут варьироваться в зависимости от требований производства.

Схема абсорбционной установки

Описание технологической схемы абсорбционной установки, приведенное далее (рис. 3.8), относится к одному из типов очистных установок с неподвижной насадкой. Но общий принцип работы схож для всех категорий очистных аппаратов.

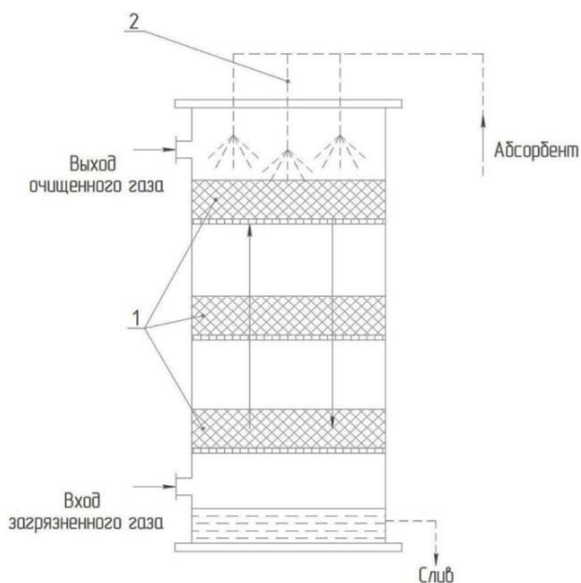


Рис. 3.8. Схема аппарата мокрой очистки газов:
1 – насадочный слой; 2 – подача абсорбента¹⁹

¹⁹ Схема аппарата мокрой очистки газов // ПЗГО : Приволжский завод газоочистного оборудования : сайт. URL: gas-cleaning.ru/article/absorbcionnaya-ochistka-gazov-absorbery (дата обращения: 18.03.2022).

Принцип действия

Нагнетаемый химическим насосом в систему абсорбент преобразуется в мелкодисперсный туман при помощи форсунок.

Производится орошение насадки и стенок рабочей камеры абсорбера. Секций с насадками может быть несколько.

Снизу нагнетается загрязненный газ.

Газ, проходя на противотоке с жидкостью, вступает в реакцию с реагентом на поверхности насадочных тел.

Очищенный газ, проходя каплеуловитель, выбрасывается в атмосферу либо перенаправляется для повторной очистки.

Отработанная жидкость идет на переработку либо применяется во вторичном производстве. Количество циклов зависит от степени активности реагента.

Типы абсорбентов

Наиболее используемый абсорбент для очищения воздуха — щелочной раствор. Также могут применяться кислоты, моноэтаноламин, водные растворы кислоты и марганца, сульфата железа и многие другие. Улавливание аммиака, например, производится обычной водой.

В процессе работы очистной установки важно отслеживать показатель насыщенности улавливающей жидкости, например, по показателю активности ионов водорода. В зависимости от него принимается решение о замене отработанной жидкости на новую.

Выбор абсорбента для очистки газов является важнейшим этапом разработки газоочистной системы.

Типы абсорберов

В зависимости от устройства аппараты делятся на несколько категорий. Основными типами абсорберов мокрого типа являются:

- распыливающие полые абсорберы;
- насадочные;
- пенные;
- абсорберы Вентури.

Подбор должен производиться на основании расчета и моделирования процесса. В зависимости от целевого назначения и качественного состава загрязнений меняется не только система очистки, но и очищающая жидкость.

Распыливающий полый абсорбер

Устройство представляет собой полую вертикальную цилиндрическую колонну (рис. 3.9), снизу которой подведен газоход. Вверху камеры установки расположены форсунки, распыляющие очищающую жидкость. Внутри абсорбера происходит контакт примесей газа с мелкодисперсными каплями реагента.

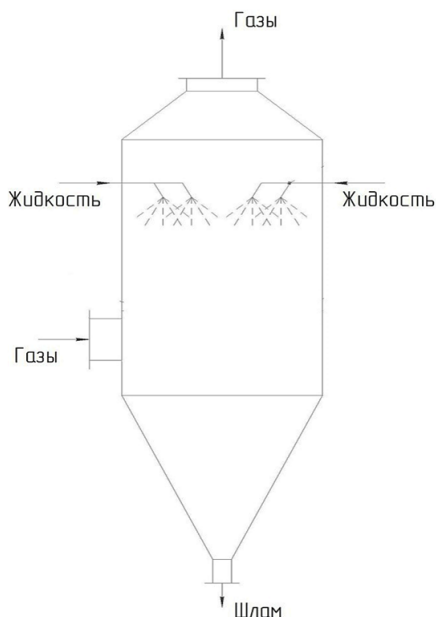


Рис. 3.9. Схема полового форсуночного абсорбера²⁰

Достоинства распыляющего абсорбера:

- малое гидросопротивление;
- простота монтажа и эксплуатации;
- неприхотливость в обслуживании;
- ремонтпригодность.

Надежность, долговечность, неприхотливость обусловлены отсутствием механических узлов. Ломаться попросту нечему. А обслужи-

²⁰ Схема полового форсуночного абсорбера // ПЗГО : Приволжский завод газоочистного оборудования : сайт. URL: gas-cleaning.ru/article/absorbcionnaya-ochistka-gazov-absorbery (дата обращения: 18.03.2022).

живание сводится к периодической очистке нижней камеры и промывке форсунок.

Насадочный абсорбер

Абсорберы такого типа работают по схожему принципу (рис. 3.10). Отличие в том, что воздушный поток проходит сквозь секции с насадкой, разделенные решетками.

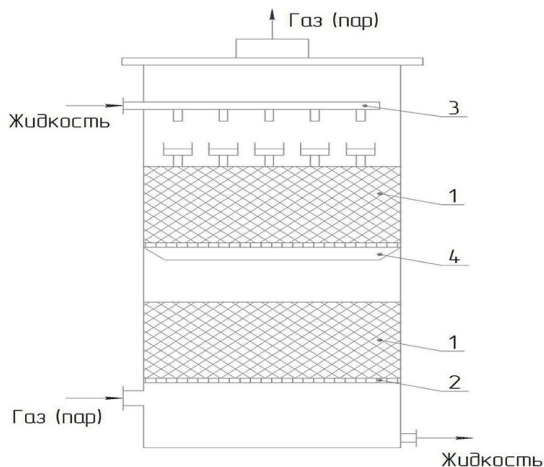


Рис. 3.10. Схема насадочного абсорбера: 1 – насадочный слой; 2 – опорная решетка; 3 – распределитель абсорбента; 4 – парораспределитель абсорбента²¹

Насадка – это твердые тела с большой площадью контакта.

Существует несколько типов насадочных элементов:

- кольца Палля;
- седла Инталокс;
- кольца Рашига;
- седла Берля и т. д.

Высота каждого слоя насадки не должна быть больше 4–5 диаметров абсорбера. Это связано с тем, что абсорбент имеет тенденцию перетекать к стенкам аппарата (так называемый пристеночный эффект), что приводит к неэффективному распределению жидко-

²¹ Схема насадочного абсорбера // ПЗГО : Приволжский завод газоочистного оборудования : сайт. URL: gas-cleaning.ru/article/absorbcionnaya-ochistka-gazov-absorbery (дата обращения: 18.03.2022).

сти в насадочном слое. После каждого насадочного слоя следует устанавливать перераспределители жидкости.

Орошение производится таким образом, чтобы вся насадка была смочена. Взаимодействие газов с примесями происходит на поверхности насадочных тел, а отработанная жидкость стекает в нижнюю часть абсорбера, где собирается и направляется в циркуляционный бак, а оттуда на повторное использование.

Современные насадочные абсорберы способны уловить 99,9 % примесей и не создают высокое сопротивление.

Пенный абсорбер

Установки данного типа (рис. 3.11) проявили свою эффективность в процессах очистки промышленного воздуха от пыли, фтористых, аммиачных, серных и других токсичных компонентов. Скоростной пенный абсорбер может иметь в сечении окружность или прямоугольник.

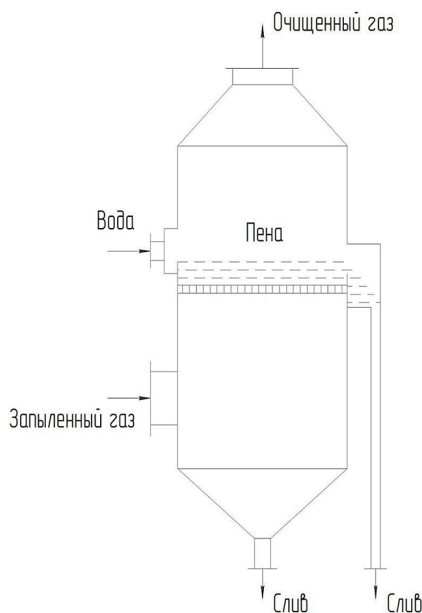


Рис. 3.11. Схема пенного абсорбера²²

²² Схема действия пенного абсорбера // ПЗГО : Приволжский завод газоочистного оборудования : сайт. URL: gas-cleaning.ru/article/absorbicinnaya-ochistka-gazov-absorbery (дата обращения: 18.03.2022).

Достоинства установки:

- полностью отсутствует брызгоунос;
- аппарат легко обслуживать;
- малые габаритные размеры;
- степень очистки – 98 %.

Внутри рабочей камеры расположено одно или несколько контактных устройств, внешне напоминающих тарелку с перфорацией, на которой происходит контакт.

Жидкость направляется в рабочую камеру насосом посредством циркуляционных труб. Результатом контакта абсорбента с газом является газожидкостная пена, образующаяся на массообменной тарелке, где и происходит очистка. Далее очищенный газ поступает в сепаратор, который отделяет от него капельную влагу, а чистый газ выбрасывается в атмосферу.

Минусом данного типа оборудования является то, что мелкие перфорации на массообменной тарелке склонны к зарастанию, что требует частой остановки для обслуживания.

Метод хемосорбции основан на поглощении газов и паров твердыми или жидкими поглотителями с образованием малолетучих и малорастворимых химических соединений.

Поглотительная способность хемосорбента почти не зависит от давления, в связи с этим хемосорбция более выгодна при небольшой концентрации вредностей в отходящих газах.

Большинство реакций, протекающих в процессе хемосорбции, являются экзотермическими и обратимыми, в связи с этим при повышении температуры раствора образующееся химическое соединение разлагается с выделением исходных элементов. На этом принципе основан механизм действия хемосорбента.

Процесс хемосорбции осуществляется в тех же аппаратах, что и абсорбция, но при этом изменяется тип сорбента; часто насадку конструируют подвижной (в режиме пульсаций для турбулизации взаимодействующих фаз).

Хемосорбция является одним из наиболее распространенных способов очистки отходящих газов от оксидов.

Методы абсорбции и хемосорбции, применяемые для очистки промышленных выбросов, называют мокрыми. Их преимущества

закljučаются в экономичности очистки большого количества газов и осуществлении непрерывных технологических процессов.

Термическое дожигание

Дожигание представляет собой метод обезвреживания газов путем термического окисления различных вредных веществ, главным образом органических, в практически безвредные или менее вредные, преимущественно CO_2 и H_2O . Обычные температуры дожигания для большинства соединений лежат в интервале 750–1200 °С. Применение термических методов дожигания позволяет достичь 99-процентной очистки газов.

При рассмотрении возможности и целесообразности термического обезвреживания необходимо учитывать характер образующихся продуктов горения. Продукты сжигания газов, содержащих соединения серы, галогенов, фосфора, могут превосходить по токсичности исходный газовый выброс. В этом случае необходима дополнительная очистка. Термическое дожигание весьма эффективно при обезвреживании газов, содержащих токсичные вещества в виде твердых включений органического происхождения (сажа, частицы углерода, древесная пыль и т. д.).

Важнейшими факторами, определяющими целесообразность термического обезвреживания, являются затраты энергии (топлива) для обеспечения высоких температур в зоне реакции, калорийность обезвреживаемых примесей, возможность предварительного подогрева очищаемых газов. Повышение концентрации дожигаемых примесей ведет к значительному снижению расхода топлива. В отдельных случаях процесс может протекать в автотермическом режиме, т. е. рабочий режим поддерживается только за счет тепла реакции глубокого окисления вредных примесей и предварительного подогрева исходной смеси отходящими обезвреженными газами.

Принципиальную трудность при использовании термического дожигания создает образование вторичных загрязнителей, таких как оксиды азота, хлор, SO_2 и др.

Термические методы широко применяются для очистки отходящих газов от токсичных горючих соединений. Разработанные в последние годы установки дожигания отличаются компактностью и низкими энергозатратами. Применение термических методов

эффективно для дожигания пыли многокомпонентных и запыленных отходящих газов.

Термокаталитические методы

Каталитические методы газоочистки отличаются универсальностью. С их помощью можно освобождать газы от оксидов серы и азота, различных органических соединений, монооксида углерода и других токсичных примесей. Каталитические методы позволяют преобразовывать вредные примеси в безвредные, менее вредные и даже полезные. Они дают возможность перерабатывать многокомпонентные газы с малыми начальными концентрациями вредных примесей, добиваться высоких степеней очистки, вести процесс непрерывно, избегать образования вторичных загрязнителей. Применение каталитических методов чаще всего ограничивается трудностью поиска и изготовления пригодных для длительной эксплуатации и достаточно дешевых катализаторов. Гетерогенно-каталитическое превращение газообразных примесей осуществляют в реакторе, загруженном твердым катализатором в виде пористых гранул, колец, шариков или блоков со структурой, близкой к сотовой. Химическое превращение происходит на развитой внутренней поверхности катализаторов, достигающей $1000 \text{ м}^2/\text{г}$.

В качестве эффективных катализаторов, находящихся применение на практике, служат самые разные вещества — от минералов, которые используются почти без всякой предварительной обработки, и простых массивных металлов до сложных соединений заданного состава и строения. Обычно каталитическую активность проявляют твердые вещества с ионными или металлическими связями, обладающие сильными межатомными полями. Одно из основных требований, предъявляемых к катализатору, — устойчивость его структуры в условиях реакции. Например, металлы не должны в процессе реакции превращаться в неактивные соединения.

Современные катализаторы обезвреживания характеризуются высокой активностью и селективностью, механической прочностью и устойчивостью к действию ядов и температур. Промышленные катализаторы, изготавливаемые в виде колец и блоков сотовой структуры, обладают малым гидродинамическим сопротивлением и высокой внешней удельной поверхностью.

Наибольшее распространение получили каталитические методы обезвреживания отходящих газов в неподвижном слое катализатора. Можно выделить два принципиально различных метода осуществления процесса газоочистки — в стационарном и в искусственно создаваемом нестационарном режимах.

1. Стационарный метод

Приемлемые для практики скорости химических реакций достигаются на большинстве дешевых промышленных катализаторов при температуре 200–600 °С. После предварительной очистки от пыли (до 20 мг/м³) и различных каталитических ядов (As, Cl₂ и др.) газы обычно имеют значительно более низкую температуру.

Подогрев газов до необходимых температур можно осуществлять за счет ввода горячих дымовых газов или с помощью электроподогревателя. После прохождения слоя катализатора очищенные газы выбрасываются в атмосферу, что требует значительных энергозатрат. Добиться снижения энергозатрат можно, если тепло отходящих газов использовать для нагревания газов, поступающих в очистку. Для нагрева служат обычно рекуперативные трубчатые теплообменники.

При определенных условиях, когда концентрация горючих примесей в отходящих газах превышает 4–5 г/м³, осуществление процесса по схеме с теплообменником позволяет обойтись без дополнительных затрат.

Такие аппараты могут эффективно работать только при постоянных концентрациях (расходах) или при использовании совершенных систем автоматического управления процессом.

Эти трудности удается преодолеть, проводя газоочистку в нестационарном режиме.

2. Нестационарный метод (реверс-процесс)

Реверс-процесс предусматривает периодическое изменение направлений фильтрации газовой смеси в слое катализатора с помощью специальных клапанов. Процесс протекает следующим образом. Слой катализатора предварительно нагревают до температуры, при которой каталитический процесс протекает с высокой скоростью. После этого в аппарат подают очищенный газ с низкой температурой, при которой скорость химического превращения пре-

небрежимо мала. От прямого контакта с твердым материалом газ нагревается, и в слое катализатора начинает с заметной скоростью идти каталитическая реакция. Слой твердого материала (катализатора), отдавая тепло газу, постепенно охлаждается до температуры, равной температуре газа на входе. Поскольку в ходе реакции выделяется тепло, температура в слое может превышать температуру начального разогрева. В реакторе формируется тепловая волна, которая перемещается в направлении фильтрации реакционной смеси, т. е. в направлении выхода из слоя.

Периодическое переключение направления подачи газа на противоположное позволяет удержать тепловую волну в пределах слоя как угодно долго.

Преимущество этого метода — в устойчивости работы при колебаниях концентраций горючих смесей и отсутствии теплообменников.

Основным направлением развития терموкаталитических методов является создание дешевых катализаторов, эффективно работающих при низких температурах и устойчивых к различным ядам, а также разработка энергосберегающих технологических процессов с малыми капитальными затратами на оборудование. Наиболее массовое применение терموкаталитические методы находят при очистке газов от оксидов азота, обезвреживании и утилизации разнообразных сернистых соединений, обезвреживании органических соединений и СО.

Для концентраций ниже 1 г/м^3 и больших объемов очищаемых газов использование терموкаталитического метода требует высоких энергзатрат, а также большого количества катализатора.

Бланк выполнения задания 3

Форма 3.1

Характеристика оборудования для очистки вредных выбросов от газопарообразных примесей

Наименование оборудования	Основные технические характеристики	Требования безопасности	Область применения	Методы испытаний
Оборудование абсорбционного метода очистки				
Оборудование адсорбционного метода очистки				
Оборудование хемосорбционного метода очистки				
Оборудование термического метода очистки				
Оборудование каталитического метода очистки				

Критерии оценки

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если правильно оформлены отчетные таблицы.

Оценка «не зачтено» – если неправильно оформлены отчетные таблицы.

Тема 4. Методы очистки воздушных вредных выбросов от туманов

Практическое задание 4 Характеристика оборудования для очистки вредных выбросов от туманов

Цель задания – получить практические навыки организации применения оборудования для очистки вредных выбросов от туманов.

Алгоритм выполнения практического задания

1. Изучите теоретическую часть задания.
2. Проведите анализ основных характеристик оборудования для очистки вредных выбросов от туманов.
3. На основании проведенного анализа заполните таблицу «Характеристика оборудования для очистки вредных выбросов от туманов» (форма 4.1).
4. Оформите отчет о практическом задании (отчет включает титульный лист и заполненную форму 4.1) и защитите его у преподавателя.

Теоретическая часть

Для очистки воздуха от туманов кислот, щелочей, масел и других жидкостей используются волокнистые фильтры, принцип действия которых основан на осаждении капель на поверхности пор с последующим стеканием жидкости под действием сил тяжести (рис. 4.1).

Туманоуловители делят на низкоскоростные ($\omega_{\phi} \leq 0,15$ м/с), в которых преобладает механизм диффузионного осаждения капель, и высокоскоростные ($\omega_{\phi} = 2-2,5$ м/с), где осаждение происходит главным образом под воздействием инерционных сил.

Фильтрующий элемент низкоскоростного туманоуловителя показан на рис. 4.1. В пространство между двумя цилиндрами 3, изготовленными из сеток, помещается волокнистый фильтроэлемент 4, который крепится через фланец 2 к корпусу туманоуловителя 1. Жидкость, осевшая на фильтроэлементе, стекает на нижний фланец 5 и затем через трубку гидрозатвора 6 и стакан 7 сливается из фильтра.

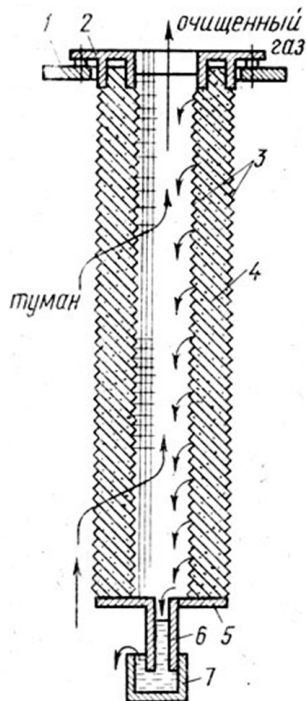


Рис. 4.1. Фильтрующий элемент низкоскоростного туманоуловителя²³

Волокнистые низкоскоростные туманоуловители обеспечивают очень высокую эффективность очистки (до 0,999) газа от частиц размером менее 3 мкм и полностью улавливают частицы большего размера. Волокнистые слои формируются набивкой стекловолна диаметром от 7 до 30 мкм или полимерных волокон (лавсан, ПВХ, полипропилен) диаметром от 12 до 40 мкм. Толщина слоя составляет 5–15 см. Гидравлическое сопротивление сухих фильтроэлементов равно 200–1000 Па, а в режиме очистки без образования твердого осадка – 1200–2500 Па.

Высокоскоростные туманоуловители имеют меньшие габаритные размеры и обеспечивают эффективность очистки газа от тумана

²³ Фильтрующий элемент низкоскоростного туманоуловителя // Экология : сайт. URL: ecologylib.ru/books/item/f00/s00/z0000000/st020.shtml (дата обращения: 18.03.2021).

с частицами менее 3 мкм, равную 0,90–0,98 при $\Delta p = 1500\text{--}2000$ Па. В качестве фильтрующей набивки в таких туманоуловителях используются войлоки из полипропиленовых волокон, которые успешно работают в среде разбавленных и концентрированных кислот (H_2SO_4 , HCl , HF , H_3PO_4 , HNO_3) и крепких щелочей.

В тех случаях, когда диаметр капель тумана составляет 0,6–0,7 мкм и менее, для достижения приемлемой эффективности очистки приходится увеличивать скорость фильтрации до 4,5–5 м/с. Рост скорости фильтрации приводит к заметному брызгоуносу с выходной стороны фильтроэлемента (брызгоунос обычно возникает уже при скоростях 1,7–2,5 м/с). Значительно уменьшить брызгоунос можно применением брызгоуловителей в конструкции туманоуловителя.

Для улавливания жидких частиц размером более 5 мкм применяют брызгоуловители из пакетов сеток. Захват частиц жидкости в таких брызгоуловителях происходит за счет эффекта касания и инерционных сил. Скорость фильтрации в брызгоуловителях не должна превышать 6 м/с.

На рис. 4.2 показана конструкция высокоскоростного волокнистого туманоуловителя с цилиндрическим фильтрующим элементом 3, который представляет собой перфорированный барабан с глухой крышкой. В барабане установлен грубоволокнистый войлок 2 толщиной 3–5 мм. Вокруг барабана по его внешней стороне расположен брызгоуловитель 1, представляющий собой набор перфорированных плоских и гофрированных слоев винилпластовых лент. Брызгоуловитель и фильтроэлемент нижней частью установлены в слой жидкости.

Отличительной особенностью волокнистых фильтров-туманоуловителей являются коалесценция уловленных жидких частиц при контакте с поверхностью волокон и образование на них пленки жидкости, удаляющейся по мере накопления из слоя в виде струек или крупных капель, перемещающихся внутри слоя и с тыльной стороны под действием силы тяжести, а также увлечения газовым потоком или капиллярных сил.

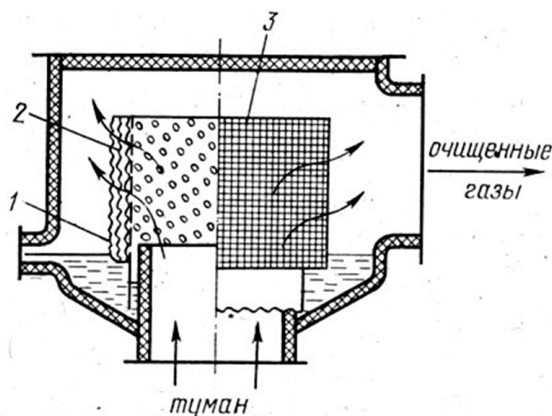


Рис. 4.2. Высокоскоростной волоконистый туманоуловитель²⁴

При этом обычно не требуется никаких механических воздействий на фильтрующие слои, т. е. фильтры-туманоуловители работают с постоянным сопротивлением в стационарном режиме саморегенерации (самоочищения).

Выгодно отличаясь по многим параметрам от электрофильтров и скрубберов Вентури, волоконистые фильтры-туманоуловители обладают существенным недостатком — возможностью зарастания при наличии в тумане значительного количества твердых частиц и при образовании в слое нерастворимых отложений солей (CaSO_4 , CaCO_3 , CaF_2 , CaSO_3 и др.) за счет взаимодействия солей жесткости воды с газами (CO_2 , SO_2 , HF и др.).

Несмотря на указанные недостатки, эти аппараты характеризуются высокой степенью очистки, надежностью в работе, простотой конструкций, монтажа и обслуживания, а главное, возможностью обеспечения очистки тонкодисперсных туманов до любой остаточной концентрации. Поэтому в ряде случаев фильтры-туманоуловители являются незаменимыми, а иногда единственными аппаратами для тонкой очистки газов от туманов в технологических процессах получения серы и термической фосфорной кислоты, концентрирования различных кислот и солей, производства хлор-газа, испарения масел и других органических жидкостей.

²⁴ Высокоскоростной волоконистый туманоуловитель // Экология : сайт. URL: ecologylib.ru/books/item/f00/s00/z0000000/st020.shtml (дата обращения: 18.03.2021).

В качестве фильтров-туманоуловителей широко применяются волокнистые самоочищающиеся фильтры-туманоуловители, снаряжаемые слоями из стеклянных, синтетических и металлических волокон, а также пакетами вязаных металлических или синтетических сеток. Улавливание жидких частиц сопровождается сложными вторичными процессами в слое, в результате чего структура его существенно изменяется. Захваченные волокнами капельки растекаются по их поверхности с образованием пленки, толщина которой увеличивается, становится неустойчивой и распадается на отдельные капли, которые скатываются по волокнам в места изгибов и скрещивания волокон под действием сил тяжести и лобового трения в потоке газов. Кроме того, происходит миграция жидкости в пленках на волокнах из малых капель.

Вследствие действия капиллярных сил соседние волокна могут слипаться, в результате исчезают отдельные мелкие волокна в недостаточно упругих материалах и образуются более крупные поры. В то же время часть мелких пор заполняется жидкостью, что приводит к увеличению истинной скорости газов в более крупных порах слоя. Таким образом, накопление жидкости приводит к значительному изменению строения волокнистого слоя, вызывая падение эффективности улавливания частиц и рост сопротивления фильтра. Непрерывный рост сопротивления и падение эффективности по мере накопления жидкости продолжают до тех пор, пока фильтрующий слой не войдет в стационарный режим самоочищения.

После этого количество жидкости, удерживаемой в слое и стекающей из него, остается постоянным во времени при неизменных параметрах скорости фильтрации и концентрации веществ.

Структура слоя в основном обуславливает локальное накопление жидкости и формирование определенных путей и скорости вывода ее из слоя. Капиллярные силы не только удерживают жидкость в слое, но и перемещают ее по слою в места с наибольшей плотностью упаковки волокон. Чем больше плотность упаковки слоя и меньше диаметр волокон, тем большее количество жидкости удерживается в слое.

В рыхлых материалах из тонких и упругих волокон диаметром менее 5 мкм происходит сильное насыщение слоя. При этом обра-

зуются новые капельки — возникает генерация вторичного аэрозоля. Образование многочисленных пузырьков на тыльной поверхности и в глубине тонковолокнистого слоя и их разрыв приводят к образованию мелких частиц, уносимых газом. В результате сопротивление очень резко возрастает, а эффективность очистки падает, и только снижение насыщенности жидкостью слоя может привести к уменьшению выходной концентрации. Этого можно добиться уменьшением входной концентрации и скорости фильтрации, использованием толстых и пористых слоев с более крупными и упругими волокнами в слое, вертикальным расположением слоя, односторонней упаковкой волокон в слое, а иногда и принудительным отводом жидкости из замыкающего слоя.

При улавливании туманов растворов солей решающее влияние на фазовое состояние солевого аэрозоля может иметь относительная влажность газа. Если она больше равновесной влажности над насыщенным раствором, твердые кристаллы солей на волокнах не образуются, если ниже равновесной, то на волокнах возникает плотная быстро растущая солевая оболочка. В подобных случаях в газы добавляется мятый пар, распыленная жидкость или сам слой орошается из форсунок.

Волокнистые фильтры-туманоуловители подразделяются на три типа:

1) низкоскоростные ($w \leq 0,2$ м/с), снаряжаемые волокнами диаметром 5–20 мкм и предназначенные для улавливания субмикронных частиц за счет броуновской диффузии и эффекта зацепления; эффективность их увеличивается с уменьшением скорости фильтрации, размера частиц и диаметра волокон;

2) высокоскоростные ($w > 0,5/1,2$ м/с) со слоем грубых волокон диаметром 20–100 мкм, служащие для выделения из газа частиц крупнее 1 мкм за счет механизма инерционного осаждения, эффективность которого возрастает с увеличением размера частиц и скорости фильтрации до определенной (критической) величины (обычно 1–2,5 м/с), при которой начинается вторичный брызгоунос уловленной жидкости из слоя в виде крупных капель;

3) многоступенчатые, состоящие из 2–3 фильтров второго и первого типов, в которых первая ступень работает при скоростях

выше критической и является укрупнителем улавливаемых капель при высоких входных концентрациях тумана.

Низкоскоростные фильтры-туманоуловители. Для снаряжения низкоскоростных фильтров оптимальной является смесь волокон с определенным соотношением грубых и тонких. Грубые упругие волокна обеспечивают равномерное объемное распределение более тонких, увеличивают скорость вывода из слоя, придают слою механическую прочность и стабильность, обеспечивая возможность работы более тонким волокнам по всей глубине слоя. Обычно применяются слои из смеси волокон диаметром от 5 до 20 мкм с пористостью 88–92 % и толщиной от 0,01 до 10 м. Иногда используются волокна размером от 8 до 15 мм с толщиной слоя 50 мм. Характерная конструкция низкоскоростного фильтрующего элемента приведена на рис. 4.3.

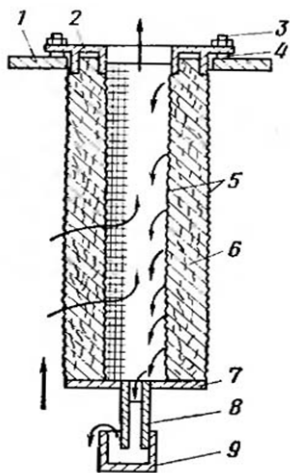


Рис. 4.3. Цилиндрический фильтрующий элемент:

- 1 – опорная трубчатая перегородка; 2 – уплотняющий патрубок-фланец;
- 3 – шпилька; 4 – прокладка; 5 – сетка; 6 – стекловолоконистый слой;
- 7 – днище; 8 – трубка гидрозатвора; 9 – стакан²⁵

Элемент состоит из двух расположенных цилиндрических секций из проволоки диаметром 3,2 мм, приваренных к дну и входному

²⁵ Цилиндрический фильтрующий элемент // Циклоны ЦН : сайт. URL: cyklon-cn.ru/filters-mist-eliminators.html (дата обращения: 18.03.2021).

патрубку-фланцу. Пространство между сетками заполнено волокном, дно элемента оборудовано трубкой, погруженной в стакан-гидрозатвор, из которого уловленная жидкость перетекает в корпус аппарата. На опорной трубной решетке в корпусе фильтрующие элементы крепятся через прокладку шпильками и гайками.

В зависимости от производительности установок в одном корпусе может монтироваться от 1 до 50–70 элементов. На существующих сернокислотных заводах такие элементы часто устанавливаются в отдельном корпусе, а в новых цехах – в верхних частях абсорберов (производительностью до 170 тыс. м³/ч) (рис. 4.4).

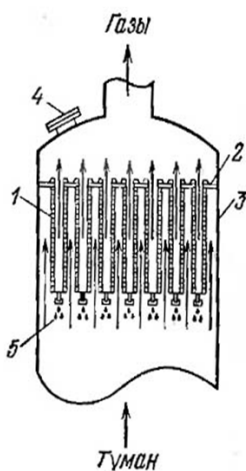


Рис. 4.4. Размещение фильтрующих элементов в абсорбционной сернокислотной башне: 1 – элементы; 2 – опорная решетка; 3 – корпус; 4 – монтажный люк; 5 – уловленная кислота²⁶

Для изготовления волокон применяются специальные стекла, устойчивые к воздействию концентрированных и разбавленных кислот. Для снаряжения также используются синтетические волокна из полипропилена, полиэфиров, поливинилхлорида, фторопласта и других полимеров, причем сопротивление и коэффициент проскока частиц у таких фильтров в режиме самоочистения ниже, чем у фильтров из гидрофильных стеклянных волокон.

²⁶ Цилиндрический фильтрующий элемент // Циклоны ЦН : сайт. URL: cyklon-cn.ru/filters-mist-eliminators.html (дата обращения: 18.03.2021).

В качестве конструкционных материалов в элементах применяются армированные пластики, нержавеющая сталь, а при температурах выше 50 °С – легированные молибденистые стали. Максимально допустимая температура для фильтров из стекловолокна – 400 °С. Низкоскоростные волокнистые фильтры могут снаряжаться следующими видами стекловолокна: фильтровальными стекловолокнистыми пакетами ФСП (ТУ 6-11-363-75) и нетканым объемным материалом МЧПС (ТУ 6-11-339-74); теплоизоляционными рулонами марки Б (ГОСТ 10499–67) с диаметром волокон 6–13 мкм.

Высокоскоростные туманоуловители. С повышением скорости фильтрации размеры волокнистых фильтров-туманоуловителей уменьшаются, снижается и стоимость аппаратов. При этом определяющим механизмом осаждения частиц становится инерционный, эффективность проявления которого резко возрастает с увеличением скорости фильтрации. Высокоскоростные туманообрызгоуловители выполняются в виде плоских элементов (рис. 4.5).

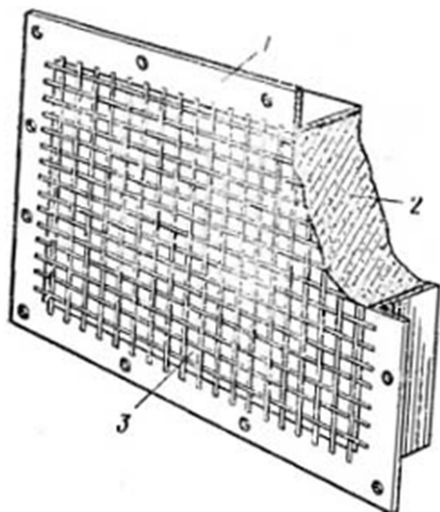


Рис. 4.5. Элемент высокоскоростного фильтра:
1 – короб с фланцем; 2 – стекловолокно; 3 – сетка²⁷

²⁷ Элемент высокоскоростного фильтра // Справочник химика 21 : химия и химическая технология : сайт. URL: chem21.info/article/733182/ (дата обращения: 18.03.2021).

Иглопробивной способ формирования слоев из полимерных волокон позволяет получать фильтрующие материалы, имеющие благоприятное строение применительно к улавливанию туманов при низких и высоких скоростях фильтрации. Волокна в этих материалах не только располагаются и сцепляются в плоскости слоя, но и переплетаются между отдельными слоями, образуя объемную однородную структуру, очень устойчивую к механическим воздействиям в трех направлениях, упругую и стабильную в мокром состоянии. Эти материалы называются войлоками. Толщина материала изменяется от 3 до 12 мм, масса 1 м² — от 0,2 до 1,0 кг. Войлоки выпускаются промышленностью в соответствии с ТУ 17 РСФСР 17-3941-76 и ТУ 17-14-77-79 из волокон диаметром 20, 30, 50 и 75 мкм.

В высокоскоростных фильтрах-туманоуловителях используются полипропиленовые войлоки из волокон диаметром 75 мкм. При скорости фильтрации 1,5–1,7 м/с сопротивление составляет 500 Па, степень очистки для частиц более 3 мкм близка к 100 %. Полипропиленовые материалы благодаря универсальной химической стойкости применяются для улавливания туманов растворов разбавленных и концентрированных кислот и крепких щелочей. Их не рекомендуется использовать после абсорбера и при концентрации кислоты выше 98 %, так как наличие свободного серного ангидрида в сухом газе приводит к сульфированию полипропилена. В этих случаях устойчиво работают волокна из фторина, специальных сортов стали и стекла.

Двухступенчатые фильтры-туманоуловители. Эти установки состоят из орошаемого форсунками брызгоуловителя в качестве первой ступени и низкоскоростного фильтра-туманоуловителя в качестве второй ступени. Разработаны два основных типа двухступенчатых волокнистых туманоуловителей, различающихся функциями, которые выполняются ступенями. В одном типе установок в первом по ходу газа фильтре улавливаются крупные частицы и несколько снижается концентрация тумана. Во втором фильтре (обычно низкоскоростном) осуществляется тонкая очистка тумана от высокодисперсных частиц, не уловленных в первой ступени. В другом типе установок первая ступень является агломератом для улавливания частиц всех размеров, а уловленная жидкость вы-

носится потоком газа в виде крупных капель, поступающих во второй фильтр-брызгоуловитель. Конструктивно обе ступени фильтра размещаются в едином корпусе (рис. 4.6).

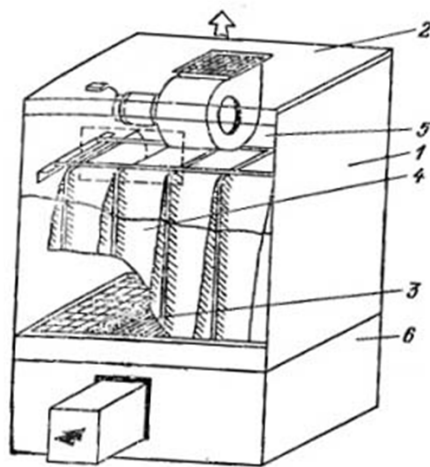


Рис. 4.6. Низкоскоростной двухступенчатый туманоуловитель: 1 – корпус; 2 – крышка с вентилятором; 3 – первая ступень очистки; 4 – вторая ступень очистки; 5 – откидная дверца; 6 – маслосборник²⁸

Область применения двухступенчатых установок: улавливание аэрозолей растворимых аммонийных солей (аммиачной селитры) от нейтрализаторов и грануляционных башен.

Двухступенчатые полипропиленовые фильтры применяются для улавливания тумана на операции упарки гидролизной серной кислоты, в установках с погружным горением в производстве пигментной двуокиси титана. В данном случае в тумане содержится большое количество твердых примесей (сажа, смолистые, соли сульфата железа и др.). Поэтому фильтры оснащены форсунками для периодической промывки материала. Промывная вода подается под давлением 0,15–0,2 МПа с расходом 0,1–0,2 м³/м в течение 0,5–2 мин. Регенерация производится один раз в смену без отключения газа. Первая ступень снаряжается войлоком из волокон $d_{\text{в}} = 75$ мкм, скорость фильтрации 5,5–8 м/с. Вторая ступень со-

²⁸ Низкоскоростной двухступенчатый туманоуловитель // Циклоны ЦН : сайт. URL: cyklon-cn.ru/filters-mist-eliminators.html (дата обращения: 18.03.2021).

стоит из цилиндрических или конических элементов, снаряженных иглопробивным войлоком из волокон диаметром 30–35 или 18–20 мкм и работающих при низких скоростях фильтрации.

Сопротивление установки – 3–7 кПа, эффективность очистки – 85,4–99,8 %. Входная концентрация тумана – 52–124 г/м³ (в расчете на 10 % H₂SO₄), температура газов – 80–85 °С.

Полипропиленовые материалы можно успешно применить для технологической и санитарной очистки туманов термической фосфорной кислоты, получаемой путем сжигания желтого фосфора.

На первой ступени установлен грубоволокнистый высокопористый слой, работающий в инерционном режиме, а в качестве второй ступени использованы карманные элементы из стекловолнистого клееного полотна из волокон диаметром 3–5 мкм.

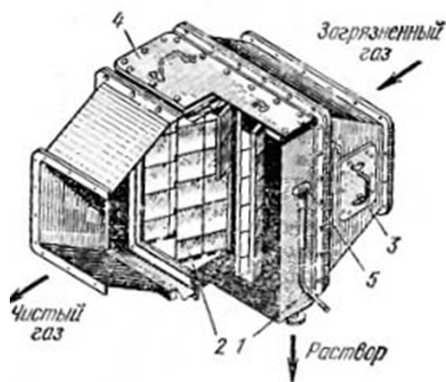


Рис. 4.7. Волокнистый фильтр ФВГ-Т: 1 – корпус; 2 – кассета с фильтрующим материалом; 3 – люк для промывки; 4 – люк для смены кассеты; 5 – форсунка для промывки шлангом²⁹

Грубоволокнистые фильтры с периодической или непрерывной промывкой применяются для очистки тумана и улавливания брызг растворов кислот, солей и щелочей на операциях травления металлических изделий и гальванопокрытий. На рис. 4.7 показан фильтр ФВГ-Т, предназначенный для очистки аспирационного воздуха от

²⁹ Волокнистый фильтр ФВГ-Т // Циклоны ЦН : сайт. URL: cyklon-cn.ru/filters-mist-eliminators.html (дата обращения: 18.03.2021).

частиц хромовой и серной кислот на ваннах электрохимического хромирования.

Волокнистые самоочищающиеся фильтры используются на металлообрабатывающих заводах для очистки масляных туманов, образующихся при работе металлообрабатывающих станков в результате применения смазочно-охлаждающих жидкостей.

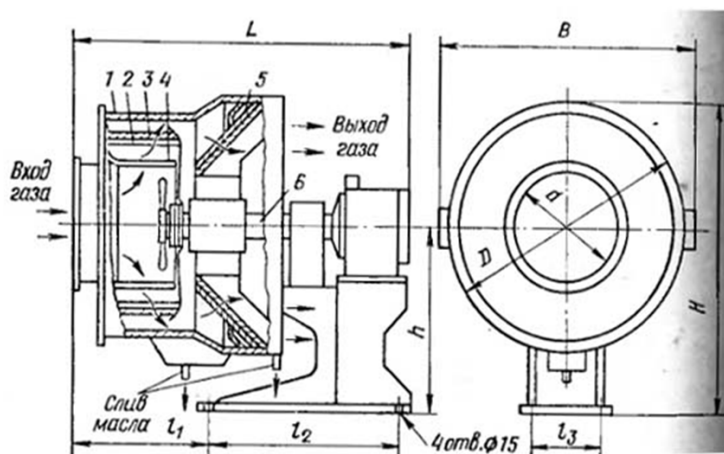


Рис. 4.8. Ротационный фильтр типа ФРМ для улавливания масляного тумана: 1 – корпус; 2 – фильтрующий материал; 3 – перфорированный барабан; 4 – вентиляторное колесо; 5 – брызгоуловитель; 6 – вал³⁰

Наряду с низкоскоростными и высокоскоростными фильтрами, устройство которых аналогично описанному выше конструкциям, разработаны специальные аппараты с вращающимся цилиндрическим фильтрующим элементом, что обеспечивает высокую эффективную непрерывную центробежную регенерацию слоя от уловленного масла. На рис. 4.8 показан фильтр-вентилятор типа ФРМ, состоящий из цилиндрического корпуса, в котором вращается перфорированный ротор с укрепленным на его дне вентиляторным колесом. Изнутри ротор облицован фильтрующим материалом. Ротор укреплен на оси электродвигателя и вращается

³⁰ Ротационный фильтр типа ФРМ для улавливания масляного тумана // Циклоны ЦН : сайт. URL: cyklon-cn.ru/filters-mist-eliminators.html (дата обращения: 18.03.2021).

с частотой около 3000 об/мин. В корпусе за ротором установлен в виде кольца волокнистый брызгоуловитель. Производительность ротационных туманоуловителей составляет от 750 до 2000 м³/ч, эффективность очистки 85–94 %.

Сеточные туманобрызгоуловители. Для очистки грубодисперсных туманов и улавливания брызг применяются каплеуловители, состоящие из пакетов вязаных металлических сеток, которые при высокой нагрузке по улавливаемой жидкости и большой скорости потока устойчиво сохраняют форму и размеры ячеек. Сетки трикотажного переплетения изготавливаются из проволок диаметром 0,2–0,3 мм, материалом для них служат легированные стали (мягкие сорта), монель-металл, сплавы на основе титана или других коррозионноустойчивых металлов, а также фторопластовое и полипропиленовое моноволокно (леска). Размеры ячеек составляют от 5 до 13 мм.

Перед применением в сеточных туманоуловителях сетчатый рукав разрезают вдоль, разворачивают и гофрируют для получения *V*-образных гофр высотой от 5 до 10 мм. Для получения максимальной пористости слоя гофрированные сетки укладывают в пакеты так, чтобы гофры соседних слоев сетки не совпадали. Толщину пакетов выбирают в пределах от 50 до 300 мм.

Для аппаратов диаметром менее 2 м сетки свертывают в цилиндрические сплошные элементы. Для установки внутри выпарных аппаратов и скрубберов большого диаметра пакеты изготавливаются стандартных размеров п-образной формы, что позволяет вести их монтаж через люки (рис. 4.9). Пакеты укладывают на легкий каркас из уголка полосовой или круглой стали, а сверху помещают опорный каркас. В некоторых случаях сеточные сепараторы устанавливают вне технологических аппаратов в отдельном сосуде.

В зависимости от условий работы используются пакеты различной плотности. Для повышения эффективности улавливания тумана предусматриваются две ступени сеточных сепараторов.

На нижней ступени устанавливают пакеты с более мелкими ячейками и повышенной плотностью (до 224 кг/м³), которые действуют как укрупнители капель; пакеты второй ступени имеют низкую плотность (96–112 кг/м³). Различная плотность упаковки достигается применением сеток с различной высотой гофр и ве-

личиной ячеек в сетках. В нижнем пакете поддерживается режим затопления. При этом улучшается промывка пара или газа, увеличиваются скорость движения капель и их инерционный захват расположенными выше сетками пакета. Практически установлено, что эффективность улавливания тумана на смоченных сетках более высокая, чем на сухих. Расстояние между ступенями обычно составляет около $3/4$ диаметра колонны.

Осажденные на проволоке капли в виде пленки перемещаются к точкам перекрещивания проволок, где образуются крупные капли, способные под действием силы тяжести преодолеть силы поверхностного натяжения и аэродинамического сопротивления восходящего потока и упасть на нижние слои сеток навстречу потоку газов (пара). Подобная картина наблюдается до определенных значений.

При некоторой скорости движения газов (пара) жидкость заполняет большую часть свободного объема слоя насадки и часть захватывается проходящими газами, т. е. возникает вторичный унос.

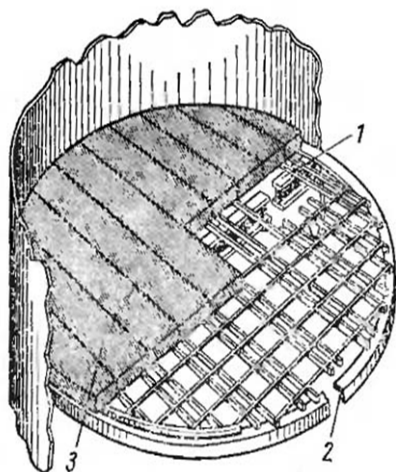


Рис. 4.9. Сеточный сепаратор для аппаратов большого диаметра:
1 – опорное кольцо из уголка 75×75 мм; 2 – дополнительная опора;
3 – фильтровальный материал³¹

³¹ Сеточный сепаратор для аппаратов большого диаметра // Циклоны ЦН : сайт. URL: cyklon-cn.ru/filters-mist-eliminators.html (дата обращения: 18.03.2021).

Максимально допустимой считается нагрузка, при которой не наблюдается вторичного уноса жидкости. Этой нагрузке соответствует максимальная эффективность сепарации.

Допустимая скорость движения газов (пара) составляет 0,9–6 м/с. Следует отметить, что высокая эффективность сепарации сеточных каплеуловителей сохраняется в диапазоне изменения скорости движения газов (пара) от 30 до 110 % оптимальных значений; при этом максимальная концентрация жидкой фазы в парах (газах) не должна превышать 100–120 г/м³. Гидравлическое сопротивление смоченных сеток при исходной концентрации жидкости менее 5 г/м³ в 1,5–2 раза выше, чем сопротивление сухих сепараторов.

Снижение эффективности каплеуловителей может быть вызвано высокой дисперсностью капель или плохой герметизацией пакетов в местах, прилегающих к стенкам. При использовании более тонких проволок при изготовлении сеток, а также при более высоких плотностях их упаковки эффективность каплеуловителей снижается, так как тонкие проволочки плохо удерживают капли, а малые размеры промежутков между проволочками способствуют увеличению вторичного уноса жидкости в виде мелких капель.

Широкое применение сеточных каплеуловителей позволяет повысить качество получаемых продуктов, увеличить производительность аппаратов или уменьшить их габариты при проектировании, уменьшить потери ценных продуктов и предотвратить загрязнение атмосферы. Например, в испарителях морской воды при высокой скорости процесса можно получить конденсат, содержащий менее 0,1 мг/м³ твердого вещества. Успешно применяются сеточные туманоуловители в выпарных аппаратах в производствах вязкого волокна, целлюлозы, глицерина, сахара, радиоактивных препаратов, всех видов неорганических солей и других продуктов, а также в различных скрубберах и абсорберах в качестве брызгоуловителей.

Бланк выполнения задания 4

Форма 4.1

Характеристика оборудования для очистки вредных выбросов от туманов

Наименование оборудования	Основные технические характеристики	Требования безопасности	Область применения	Методы испытаний

Критерии оценки

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если отчетные таблицы оформлены правильно.

Оценка «не зачтено» — если отчетные таблицы оформлены неправильно.

Практическое задание 5

Расчет циклона для очистки атмосферного воздуха

Цель задания – рассчитать циклон, обеспечивающий требуемую степень очистки газа от пыли.

Алгоритм выполнения практического задания

1. Ознакомиться с методикой расчета циклонов.
2. Выбрать вариант задания из табл. 5.3.
3. Данные занести в форму 5.1.
4. Рассчитать параметры циклона типа ЦН.
5. Сделать вывод об обеспечении требуемой степени очистки газа.

Теоретическая часть

В данном задании рассмотрены различные примеры расчета необходимого количества воздуха для производственной вентиляции помещений, где выполняется тот или иной технологический процесс. Результаты этих расчетов необходимы для последующего проектирования систем принудительной вентиляции, с тем чтобы обеспечить безопасные условия труда для работающих. Однако вентиляционный воздух, выбрасываемый в окружающую среду, оказывается загрязненным различными вредными веществами и нуждается в последующей доочистке.

Задание: подобрать циклон, обеспечивающий степень эффективности очистки газа от пыли не менее $h = 0,87$.

Циклоны предназначены для сухой очистки газов от пыли со средним размером частиц 10–20 мкм. Все практические задачи по очистке газов от пыли с успехом решаются циклонами НИИОГАЗа: цилиндрическим серии ЦН и коническим серии СК. Избыточное давление газов, поступающих в циклон, не должно превышать 2500 Па. Температура газов во избежание конденсации паров жидкости выбирается на 30–50 °С выше температуры точки росы, а по условиям прочности конструкции – не выше 400 °С. Производительность циклона зависит от его диаметра, увеличиваясь с ростом последнего. Цилиндрические циклоны серии ЦН предназначены для улавливания сухой пыли аспирационных систем. Их рекомендуется использовать для предварительной очистки газов при начальной запыленности до 400 г/м³ и устанавливать перед фильтрами и электрофильтрами.

Конические циклоны серии СК, предназначенные для очистки газов от сажи, обладают повышенной эффективностью по сравнению с циклонами типа ЦН за счет большего гидравлического сопротивления. Входная концентрация сажи не должна превышать 50 г/м³.

Методика расчета циклона

Исходные данные:

- количество очищаемого газа – $Q = 1,4 \text{ м}^3/\text{с}$;
- плотность газа при рабочих условиях – $r = 0,89 \text{ кг/м}^3$;
- вязкость газа – $m = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$;
- плотность частиц пыли – $r_{\text{п}} = 1750 \text{ кг/м}^3$;

- плотность пыли – $d_{\text{п}} = 25$ мкм;
- дисперсность пыли – $\lg s_{\text{п}} = 0,6$;
- входная концентрация пыли – $C_{\text{вх}} = 80$ г/м³.

Расчет. Задаёмся типом циклона и определяем оптимальную скорость газа $W_{\text{опт}}$ в сечении циклона диаметром D .

Выберем циклон ЦН-15, оптимальная скорость газа в котором $W_{\text{опт}} = 3,5$ м/с.

Определяем диаметр циклона, м:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot W_{\text{опт}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,4}{3,14 \cdot 3,5}} = 0,713 \text{ м.}$$

Ближайшим стандартным сечением является сечение в 700 мм.

По выбранному диаметру находим действительную скорость газа в циклоне, м/с:

$$W = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot n \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 1,4}{3,14 \cdot 1 \cdot 0,7^2} = 3,6 \text{ м/с,}$$

где n – число циклонов.

Вычисляем коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона:

$$\zeta = K_1 \cdot K_2 \cdot \zeta_{500} = 1 \cdot 0,9 \cdot 155 = 139,5,$$

где K_1 – поправочный коэффициент на диаметр циклона; K_2 – поправочный коэффициент на запыленность газа; ζ_{500} – коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм.

Определяем гидравлическое сопротивление циклона:

$$\Delta p \frac{\zeta \cdot p \cdot w^2}{2} = \frac{139,5 \cdot 0,89 \cdot 3,2^2}{2} = 635,7 \text{ Па.}$$

По табл. 5.1 определяем значение параметров пыли d_{50}^T и $\lg sh$.

Таблица 5.1

Коэффициенты типового циклона

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	СКД-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34м
d_{50}^T	8,5	4,5	3,65	2,31	1,95	1,3
$\lg d_{\eta}$	0,308	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340

Для выбранного типа циклона – $d_{50}^T = 4,5 \text{ мкм}$ $\lg s_n = 0,352$.

Ввиду того, что значения d_{50}^T , приведенные в табл. 5.1, определены по условиям работы типового циклона ($D_r = 0,6 \text{ м}$; $r_{\text{ит}} = 1930 \text{ кг/м}^3$; $m_r = 22,2 \cdot 10^{-6}$; $WT = 3,5 \text{ м/с}$), необходимо учесть влияние отклонений условий работы от типовых на величину d_{50} :

$$d_{50} = d_{50}^m \cdot \sqrt{\frac{D_r}{D_m} \cdot \frac{\rho_{nm}}{\rho} \cdot \frac{\mu_m}{\rho}} = 4,5 \cdot \sqrt{\frac{0,7}{0,6} \cdot \frac{1930}{1750} \cdot 1} \cdot \frac{3,5}{3,6} = 5 \text{ мкм.}$$

Рассчитываем параметр x :

$$X = \frac{\lg \frac{d\pi}{d_{50}}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_n}} = \frac{\lg \frac{d_{25}}{5}}{\sqrt{0,352^2 + 0,6^2}} = 1.$$

По табл. 5.2 находим значение параметра $\Phi(x)$.

Таблица 5.2

Значения параметра $\Phi(x)$

x	-2,7	-2,0	-1,8	-1,6	-1,4	-1,2
$\Phi(x)$	-0,0035	0,0228	0,0359	0,0548	0,0808	0,1151
x	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	
$\Phi(x)$	0,1587	0,2119	0,2743	0,3446	0,4207	
x	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\Phi(x)$	0,5000	9,5793	0,6554	0,7257	0,7880	0,8413
x	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,7
$\Phi(x)$	0,8849	0,9192	0,9452	0,9641	0,9772	0,9965

По табл. 5.2 находим значение параметра $\Phi(x)$:

$$\Phi(x) = 0,8413.$$

Определяем степень эффективности очистки газа в циклоне:

$$\eta = 0,5 \cdot [1 + \Phi(x)] = \eta = 0,5 \cdot [1 + 0,8413] = 0,92.$$

Расчетное значение $h = 0,92$ больше необходимого условия $h = 0,87$, таким образом, циклон выбран верно.

Варианты задания

№	Наименование оборудования	Q	r	m	$d_{\text{п}}$	$C_{\text{вх}}$	$r_{\text{п}}$	$\lg s_{\text{п}}$
1	Клинкерно-обжиговая печь	20	1,29	17,3	23	30	2000	0,85
2		26	1,29	17,3	20	10	2000	0,80
3		10	1,29	17,3	14	25	2000	0,80
4		16	1,29	17,3	9	20	2000	0,80
5	Шахтная мельница	0,1	1,29	17,3	56	100	2240	0,80
6	Крекинг-установка	2	1,29	17,3	16	10	2600	0,85
7		10	1,29	17,3	14	20	2600	0,85
8	Крекинг-установка	10	1,29	17,3	7	15	2600	0,85
9	Углесушильный барабан	5	1,29	17,3	15	50	1350	0,80
10	Шаровая мельница	1	1,29	17,3	6	20	2900	0,80
11	Вращающаяся цементная печь	10	1,29	17,3	7	40	2000	0,80
12	Вращающаяся цементная печь	10	1,29	17,3	18	20	2000	0,85
13	Электролизер алюминия	5	1,29	17,3	10	1	2700	0,85
14	Вращающаяся печь обжига	2	1,29	17,3	13	100	2900	0,85
15	Вращающаяся печь обжига	3	1,29	17,3	8	40	2650	0,80
16	Распылительная сушилка	10	1,29	17,3	8	4	1800	0,80
17	Барабанная сушилка	10	1,29	17,3	15	10	1800	0,80
18		12	1,29	17,3	11	20	1800	0,80
19	Барабанная сушилка	8	1,29	17,3	20	10	2700	0,85
20	Цементная мельница	5	1,29	17,3	12	60	2900	0,85
21	Наждачный станок	0,5	1,29	17,3	38	10	2500	0,85
22	Шаровая мельница	3	1,29	17,3	9	10	2900	0,80
23	Электролизер алюминия	8	1,29	17,3	10	2	2700	0,85
24	Наждачный станок	0,6	1,29	17,3	30	15	2500	0,85
25	Шаровая мельница	2	1,29	17,3	6	10	2900	0,80
26	Наждачный станок	0,8	1,29	17,3	30	8	2500	0,85
27	Наждачный станок	10	1,29	17,3	6	10	2000	0,80
28	Шаровая мельница	12	1,29	17,3	7	2	2000	0,80
29	Наждачный станок	8	1,29	17,3	18	15	2240	0,80
30	Барабанная сушилка	5	1,29	17,3	10	10	2600	0,85

Бланк выполнения задания 5

Форма 5.1

Исходные данные для расчета циклона

Количество очищаемого газа – Q , м ³ /с	
Плотность газа при рабочих условиях – r , кг/м ³	
Вязкость газа – m , Па · с	
Плотность частиц пыли – r_p , кг/м ³	
Плотность пыли – d_p , мкм;	
Дисперсность пыли – $\lg s_p$	
Входная концентрация пыли – $C_{вх}$, г/м ³	
Требуемая эффективность очистки газа – η	
Вывод:	

Критерии оценки

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если правильно оформлены отчетные таблицы.

Оценка «не зачтено» – если неправильно оформлены отчетные таблицы.

Модуль 2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Тема 5. Характеристика сточных вод приоритетных производственных комплексов

Практическое задание 6 Выбор перспективных технологий в области очистки сточных вод

Цель задания – получить практические навыки выбора перспективных технологий очистки промышленных сточных вод.

Алгоритм выполнения практического задания

1. Изучите теоретическую часть задания.
2. Проведите выбор перспективных технологий очистки промышленных сточных вод.
3. На основании проведенного анализа заполните таблицу «Выбор перспективных технологий в области очистки сточных вод» (форма 6.1).
4. Оформите отчет о практической работе в соответствии с требованиями к оформлению практических работ (отчет включает титульный лист и заполненную форму 6.1) и защитите его у преподавателя.

Теоретическая часть

В данном задании приведена характеристика сточных вод предприятий, относящихся к приоритетным областям применения наилучших доступных технологий. Приоритетные области применения наилучших доступных технологий были выделены из Перечня областей применения наилучших доступных технологий (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р) исходя из объемов образования сточных вод, объемов сброса неочищенных сточных вод, наличия экологических проблем и проч.

ИТС 8-2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях»

Сточные воды энергетического комплекса

Предприятия энергетического комплекса являются одним из основных потребителей природной воды. По экспертным оценкам, на их долю приходится до 70 % общего промышленного потребления воды, около 90 % которой сбрасывается в поверхностные водоёмы в виде сточных вод, в том числе 4 % загрязнённых.

Предприятия энергетического комплекса используют большой объём чистой воды, который подаётся на пополнение оборотных систем водоснабжения или при прямоточной системе после использования отводится в водоёмы.

Главные источники потоков загрязнённых вод, возникающих на предприятиях энергетического комплекса, можно разделить на следующие типы:

- охлаждающие воды;
- сточные воды от смывания шлаков и транспортировки золы и мойки оборудования;
- сточные воды систем гидрозолоулавливания (для тепловых электростанций, работающих на твёрдом топливе);
- сточные воды от регенерации фильтров на очистных установках или установках химической подготовки и блочных обессоливающих установках;
- сточные воды от промывки котлов, подогревателей воздуха и электрофильтров;
- сточные воды от кислотных промывок;
- нефтезагрязнённые сточные воды, растворы и суспензии, возникающие при обмывах наружных поверхностей нагрева (воздухоподогревателей и водяных экономайзеров котлов, сжигающих сернистый мазут, и др.);
- сточные воды моющих установок;
- сточные воды от десульфуризации и очистки отходящих газов;
- поверхностные стоки с территории предприятия, включая воды с площадок хранения топлива.

Сточные воды нефтеперерабатывающей промышленности

Нефтесодержащие сточные воды образуются на заводах многих отраслей промышленности, в том числе на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ), нефтяных терминалах, машиностроительных и авторемонтных заводах. Большое разнообразие сточных вод, образующихся на НПЗ топливно-масляного профиля, загрязнённых разными по природе веществами, послужило основой их разделения на предприятиях на две системы канализования: в первую систему отводятся нейтральные сточные воды и стоки с поверхности территории, после очистки часть воды используется в подпитке оборотных систем; во вторую – соледержащие воды, а также технологические сточные воды, загрязнённые различными реагентами, органическими и неорганическими загрязняющими веществами и проч.

Сточные воды НПЗ включают следующие загрязняющие вещества: взвешенные вещества, нефтепродукты, масла, фенол, карбамид, ароматические углеводороды, аммонийный азот, парафины, сульфаты, жирные кислоты, поверхностно-активные вещества и др. Наибольшую опасность представляют сточные воды электрообессоливающих установок (ЭЛОУ), содержащие до 30–40 г/л нефтепродуктов, до 15 г/л хлоридов; их высокая минерализация препятствует их использованию в оборотном водоснабжении. Остальные виды сточных вод НПЗ содержат нефтепродукты (от нескольких до сотен миллиграммов на 1 л), сероводород, аммиак, меркаптаны, сульфиды, фенолы. БПК колеблется от 100 до 850 мгО/дм³, ХПК – от 150 до 1700 мгО/дм³. Периодически образуются сернисто-щелочные сточные воды, нуждающиеся в специальной очистке. Кроме того, на очистные сооружения завода часто подаются хозяйственно-бытовые сточные воды от завода и жилых посёлков, как правило, расположенных поблизости.

Сточные воды химической промышленности

Для каждого типа предприятий химической промышленности характерен свой состав сточных вод, что требует индивидуального подхода при выборе метода и оборудования для их очистки.

При производстве аммиака наиболее загрязнёнными являются сточные воды установок медно-аммиачной и щелочной очистки газа и регенерации медно-аммиачного раствора. Очистку сточных

вод от аммиака производят различными методами (электродиализ, паровая отдувка, ионный обмен и т. д.). Очищенную и подготовленную воду используют в системах оборотного водоснабжения и питании котлов теплоэлектроцентралей.

Получение карбамида, наиболее востребованного азотного удобрения, связано с образованием большого количества реакционной воды. Сточными водами при производстве карбамида являются также конденсат острого пара; вода, образующаяся при охлаждении сальников плунжерных насосов; смывы с полов и другие неорганизованные сбросы сточных вод.

При производстве серной и соляной кислот образуются сточные воды с остаточным содержанием применяемых и обрабатываемых продуктов. Для их нейтрализации применяют известковые или доломитовые фильтры.

Производство фосфорной кислоты и фосфорных удобрений сопряжено с образованием сточных вод с высоким содержанием общего фосфора.

Серьёзным источником химически загрязнённых сточных вод являются крупнотоннажные производства основного органического и нефтехимического синтеза: производство акрилонитрила, синтетических жирных кислот, бутадиена, изопрена, фенола и ацетона, производство искусственных волокон, синтетических полимеров и пластмасс, минеральных пигментов; производство масляных и водоэмульсионных красок, капролактама; производство метанола, поверхностно-активных веществ (ПАВ), горного воска и др.

Сточные воды чёрной металлургии

Чёрная металлургия является одним из крупнейших потребителей воды. В настоящее время на её долю приходится до 15 % общего объёма промышленного водопотребления, при этом большая часть воды расходуется на охлаждение продукта, печей и машин.

Основные технологические процессы предприятий чёрной металлургии представлены цехами аглофабрик; доменного производства; сталеплавильными цехами (мартеновскими, конвертерными, электроплавильными); цехами горячей и холодной прокатки.

Эти производства имеют оборотные циклы водоснабжения. Объём оборотных систем по заводам составляет до 98 %. Образу-

ющиеся сточные воды оборотных циклов загрязнены в основном взвешенными веществами (в среднем от 100 до 10 000 мг/л). Вода от горячего проката, кроме того, содержит масло (10–1000 мг/л).

Сточные воды холодного проката содержат применяющиеся в процессах смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) в виде эмульсии и мелкодисперсные механические примеси, потому система их очистки включает физико-химические методы с использованием реагентов.

Технологическое металлургическое производство включает также травильные цехи, от которых образуются сточные воды, представляющие отработанные травильные растворы и промывные воды, для очистки которых применяются нейтрализация, ионный обмен, электрохимическая очистка и др.

Заводы полного металлургического цикла включают коксохимическое производство, в котором образуются фенольные, аммиачные сточные воды, в которых, кроме того, содержатся мелкодисперсные взвешенные частицы. Сточная вода может содержать сульфиды, цианиды, сульфаты, хлориды, смолы, масла; рН изменяется от 6 до 9. Очистка сточных вод коксохимического производства производится механическими, физико-химическими и биохимическими методами. После биологической очистки вода часто отводится на городские очистные сооружения. Для возврата в оборотные системы требуется применение методов глубокой доочистки и методов обесщелачивания, что значительно увеличивает стоимость очистки.

Сточные воды агломерационных фабрик образуются при очистке отходящих газов, гидросмыве и гидротранспорте, мойке оборудования. Загрязнения сточных вод, представленные взвешенными веществами и солями (преимущественно кальция), способны откладываться на стенках трубопроводов, изменяя их пропускную способность и приводя к необходимости замены участков трубопроводов.

Наиболее опасными в санитарном отношении являются сточные воды, образующиеся в травильных цехах. При этом на 1 т литья образуются 0,5 м отработанных травильных растворов температурой до 80 °С, содержащих 30–100 г/л свободной серной кислоты, 100–300 г/л железного купороса, а также 3 м промывных вод с концентрацией кислоты до 0,6–0,8 г/л и солей железа до 2,5 г/л.

Сточные воды цветной металлургии

Под сточными водами цветной металлургии подразумеваются сточные воды металлургических заводов, отличающиеся исключительно большим разнообразием загрязняющих веществ, состав и вид которых зависят от характера перерабатываемого сырья и применяемых технологических реагентов. Эти воды могут содержать грубодисперсные примеси в виде взвеси твёрдых частиц хвостов обогатительных фабрик и гидрометаллургических переделов литья, проката, обработки цветного металла; кислоты, применяемые в технологическом процессе в качестве регуляторов среды и растворителей; ионы меди, алюминия, хрома, никеля, свинца, цинка, кобальта, кадмия, сурьмы, ртути, титана и других элементов.

Сточные воды целлюлозно-бумажной промышленности

На предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности потребление воды составляет в среднем 300–350 м³/т продукции, по отдельным видам продукции – до 600 м³/т.

В технологическом отношении различают кислотный (сульфитный) и щелочной (сульфатный) способы получения целлюлозы. При всех технологических операциях сульфатно-целлюлозных предприятий образуются сточные воды, содержащие много взвешенных веществ, растворенных органических соединений, включая стабильные и дурно пахнущие соединения серы.

Сточные воды предприятий целлюлозно-бумажной промышленности представляют собой многокомпонентную водную систему, содержащую следующие основные группы веществ: взвешенные вещества; растворенные неорганические компоненты; растворенные органические компоненты.

Сточные воды предприятий пищевой промышленности и сельского хозяйства

Сточные воды предприятий пищевой промышленности образуются при мойке сырья, оборудования, производственных помещений, а также после использования воды и пара в технологических процессах. Образующиеся сточные воды содержат (как в виде локальных потоков, так и в виде смешанных потоков, в различном сочетании, в разных концентрациях) агрегативно-устойчивые коллоиды, в состав которых входят животные и растительные жиры,

белки (в том числе кровь), крахмал, сахар, а также соли, углеводы, красители, загустители, консерванты, ароматизаторы, усилители вкуса и пр. Переработка некоторых продуктов как животного (морепродукты, рыба и др.), так и растительного происхождения (картофель и др.) приводит к обильному пенообразованию.

Неравномерность поступления на очистные сооружения сточных вод предприятий пищевой промышленности, а также значительные колебания качественного и количественного состава содержащихся в сточных водах загрязняющих веществ требуют обязательного усреднения потоков сточных вод после их механической очистки и отстаивания.

При сбросе очищенных сточных вод предприятий пищевой промышленности в централизованные системы водоотведения, а также при малой и средней степени загрязнённости сточных вод используют физико-химические методы очистки: механическую очистку, усреднение, напорную реагентную флотацию и др. При необходимости используют доочистку в аэротенках или биологических фильтрах от растворенных органических веществ.

При сбросе сточных вод предприятий пищевой промышленности в водоём или на рельеф используют глубокую аэробную биологическую очистку, нитрификацию, денитрификацию и обеззараживание.

Технологические процессы предприятий пищевой промышленности требуют использования только питьевой воды, что практически исключает повторное использование очищенных сточных вод после соответствующей очистки.

В сельском хозяйстве сточные воды образуются на животноводческих и птицеводческих комплексах. Эти воды содержат большое количество органических загрязняющих веществ, концентрация которых доходит до 10 тысяч мг/дм³, азота (до 1,5 г/дм³), фосфора (до 10 дм³). На птицеводческих комплексах сточные воды образуются только при использовании технологии гидросмыва, которая в настоящее время практически не применяется.

Основной проблемой является образование поднавозных стоков и птичьего помета в больших объёмах. Птичий помет (как клеточный, так и подстилочный), не приводящий к образованию сточных вод при хранении, вывозится на полигоны.

В поверхностных и подземных водах, находящихся вблизи животноводческих и птицеводческих комплексов, отмечаются наличие нитратов, солей, других вредных элементов, высокая бактериальная обсеменённость, в том числе и патогенными микроорганизмами.

Сточные воды лёгкой промышленности

Основные воздействия на окружающую среду оказывают сточные воды текстильной и кожевенной промышленности.

Сточные воды текстильной промышленности содержат взвешенные вещества, соединения фосфора и азота, металлов (железа, меди, цинка, никеля, хрома и др.), нитраты, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), сульфаты, хлориды и др. Экологической проблемой является загрязнение сточных вод красителями, хорошо заметными визуально. При окрашивании тканей обычно достигается фиксация красителей, равная 90 %. Однако при набивке тканей (с использованием химически активных красителей) уровень фиксации может составлять менее 60 %, что приводит к попаданию в сточные воды более одной трети химически активного красителя. При отбелке тканей гипохлоритом натрия в сточных водах образуется значительное количество галогенизированных углеводов. Использование для отбеливания тканей водных растворов хлорида и гипохлорита натрия (жавелевой воды) может привести к появлению в сточных водах диоксинов. Эти вещества образуются в текстильной промышленности при хлорировании технологической воды, содержащей фенол и другие органические соединения, а также в тех технологических процессах, где ионы хлора, брома взаимодействуют с активным углеродом в кислородной среде.

Сточные воды, образующиеся на кожевенных заводах, содержат хлориды, сульфаты, гидроксид кальция, сульфиды, которые дают токсичный сероводород, соединения хрома (III), белковые вещества (присутствие которых обуславливает высокое значение ВПК), дубильные вещества, ПАВ, жировые вещества, красители и проч. В процессе промывки шкур и кож в сточные воды попадает поваренная соль, вымываемая из законсервированных солевым методом шкур крупного рогатого скота. В процессе золениа (обработка шкур высококонцентрированным сульфидом натрия и извести), необходимого для растворения шерсти, образуется зольный рас-

твор, который после отстаивания и донасыщения используется повторно, а также образуются токсичные сточные воды, содержащие 5,0–8,0 г/л сульфидов. В случае сброса обеззоливающего раствора в общий поток сточных вод увеличивается концентрация аммонийного азота и сульфатов, наблюдается превышение ПДК в десятки раз. При применении на кожевенных заводах коагулянтов для очистки сточных вод образуется значительное количество осадка (до 75 % к массе перерабатываемого сырья) с высокой влажностью – до 85 %.

Сточные воды машиностроительного комплекса

К предприятиям машиностроительного комплекса относят: механические, машиностроительные, автомобильные, машино-, тепловозо- и вагоноремонтные, подшипниковые, авторемонтные, электровозоремонтные заводы, заводы по производству электронного и оптического оборудования, радиозаводы и др. Также следует принимать во внимание автохозяйства, депо и проч.

Технологические процессы предприятий машиностроительного комплекса включают механическую обработку металла; обработку поверхностей, предметов или продукции органическими растворителями; обработку поверхностей металлов и пластмасс с использованием электролитических или химических процессов (в том числе гальваническое производство), травильное производство, литейное производство, пескоструйные установки, моющие установки и др.

Количественный и качественный состав образующихся сточных вод зависит от технологических процессов, используемых в производственном цикле. В основном они содержат взвешенные вещества, нефтепродукты, ПАВ и ионы тяжёлых металлов, что особенно характерно для сточных вод гальванического производства, часто включаемого в технологический состав цехов заводов.

Сточные воды большинства предприятий машиностроительной промышленности можно разделить на следующие основные категории:

- условно чистые сточные воды, образующиеся от охлаждения технологического оборудования (50–80 % общего количества);
- сточные воды, загрязнённые механическими примесями и маслами (10–15 %);

- сточные воды, загрязнённые кислотами, щелочами, солями, соединениями хрома, циана и другими химическими веществами (5–10 %);
- отработавшие СОЖ или эмульсии (до 1 %);
- сточные воды, загрязнённые пылью вентиляционных систем и горелой землёй литейных цехов (10–20 %);
- поверхностные (ливневые) сточные воды.

Из всех видов сточных вод машиностроительных предприятий наиболее опасными являются сточные воды гальванических цехов; при этом концентрации загрязнений существенно зависят от вида технологического процесса нанесения гальванопокрытий: например, концентрация загрязнений сточных вод промывных ванн после нанесения покрытий не превышает 200 мг/л, а в периодически сбрасываемых сточных водах ванн нанесения покрытий может достигать 100 000 мг/л.

Сточные воды гальванических цехов загрязнены различными кислотами (при травлении, обезжиривании, декапировании, электрополировании, анодировании); щелочами и азотной кислотой (при осветлении); цианидами (при латунировании, кадмировании, цинковании, серебрении); медью, никелем, хромом, кадмием, цинком, серебром, оловом (при нанесении металлических покрытий, в зависимости от вида покрытия) и т. п.

В механических цехах сточные воды загрязняются СОЖ, минеральными маслами, мылами, металлической и абразивной пылью и эмульгаторами.

В остальных цехах машиностроительных предприятий (монтажных, испытательных, лакокрасочных и т. п.) сточные воды содержат механические примеси, маслопродукты, кислоты и т. д.

Описание применяемых технологических подходов, методов, мер и мероприятий, направленных на очистку производственных сточных вод

Безреагентные методы физико-механической обработки

Процеживание. Для улавливания крупных загрязнений и мусора предприятия применяют процеживание, представляющее собой процесс фильтрования воды через сетки и решётки. На большинстве предприятий используют решётки с механизированным и руч-

ным удалением задержанных загрязнений. На этих предприятиях зазор между прутьями решёток варьируется от 2 до 16 мм. На ряде предприятий использование решёток с меньшим зазором позволяет оптимизировать дальнейшую очистку сточных вод за счёт размещения решёток с малым зазором (2–4 мм) после решёток с большим зазором, что предотвращает переполнение подводящего лотка.

Наряду с традиционными решётками на ряде предприятий используют решетки-дробилки (комминаторы), в которых одновременно с удалением загрязняющих веществ производится их измельчение.

На некоторых предприятиях для улавливания волокнистых загрязнений из сточных вод используют барабанные сетки. На одном из предприятий для улавливания волокнистых загрязняющих веществ перед основными решётками установили решётку с прутьями из круглых стержней, вокруг которых наматываются волокна и нитки, образуя клубки. При этом стержневая решётка периодически поднимается вверх, стержни проходят через отверстия для снятия клубков; клубки попадают в поток сточных вод, направляемый на рабочую решётку, где и задерживаются.

Отстаивание. Для выделения взвешенных загрязнений на большинстве предприятий применяют отстаивание — процесс выделения в отстойниках взвешенных загрязнений под действием гравитационных сил за счёт разности плотностей загрязнений и воды; на ряде предприятий при малых объёмах образования сточных вод отстойники могут выполнять функции усреднителей.

На предприятиях используют горизонтальные, радиальные и вертикальные отстойники, отличающиеся направлением потока очищаемой воды. Горизонтальные и радиальные отстойники применяют при больших расходах воды. При этом горизонтальные отстойники при равной пропускной способности характеризуются меньшей эффективностью очистки в сравнении с радиальными за счёт меньшей длины водосливной кромки; их используют в тех случаях, когда их компактность является неоспоримым преимуществом. Вертикальные отстойники, ограниченные величиной расхода до 1000 м³/ч, чаще всего применяют при выделении аморфных гидроксидных осадков, не поддающихся транспортированию скребками. При необходимости выделения мелкодисперсных загрязнений перед отстаиванием применяют коагулирование и фло-

кулирование. В этом случае конструкция отстойника иногда включает камеру хлопьеобразования.

Для удаления песка и крупнодисперсных загрязнений используют песколовки.

На ряде предприятий используют большое количество конструктивных разновидностей тонкослойных отстойников, особенностью которых является деление объёма отстаивания параллельными пластинами на отдельные ярусы, в которых процесс выделения загрязнений вследствие малой высоты отстаивания протекает значительно быстрее. На ряде предприятий тонкослойными модулями-блоками оборудуют существующие отстойные сооружения, что повышает эффективность очистки и увеличивает её производительность.

Отстойники рассчитывают на выделение частиц загрязнений определённой гидравлической крупности, являющейся, по существу, скоростью (мм/с) осаждения частиц, выделение которых обеспечивает требуемый эффект очистки.

Гидроциклонирование. Для выделения взвешенных загрязнений отдельные предприятия применяют гидроциклонирование, представляющее собой процесс выделения взвешенных загрязнений во вращающемся потоке, образованном тангенциальным впуском исходной воды, в цилиндрический корпус аппарата. На предприятиях используют открытые безнапорные и напорные гидроциклоны.

В безнапорных гидроциклонах процесс выделения загрязнений происходит под действием гравитационных сил; центробежные силы малы и на процесс практически не влияют. Однако вращательное движение потока способствует агломерации взвесей, что ускоряет процесс их выделения. При очистке воды с расходом до 50–150 м³/ч некоторые предприятия применяют открытые гидроциклоны с внутренним цилиндром, при больших расходах воды – многоярусные гидроциклоны, в конструкции которых одновременно применяется принцип тонкослойного отстаивания. Открытые и многоярусные гидроциклоны на отдельных предприятиях применяют для выделения скоагулированных и флокулированных загрязнений.

В напорных гидроциклонах процесс выделения взвесей протекает под действием центробежных сил; при этом в аппаратах малых диаметров эти силы могут превосходить гравитационные в сотни и тысячи раз. Однако при уменьшении диаметра сокращается про-

изводительность одного аппарата, поэтому на ряде предприятий для обеспечения обработки большого количества воды гидроциклоны малых размеров (диаметром 40–100 мм) объединяют в блоки с целью повышения компактности установки. При значительных уменьшениях диаметра аппарата может наблюдаться снижение эффективности выделения механических загрязнений вследствие сокращения продолжительности пребывания воды в его объёме.

Некоторые предприятия применяют напорные гидроциклоны при локальной очистке сточных вод для снижения потерь применяемого сырья и производимого продукта. Кроме того, на отдельных предприятиях напорные гидроциклоны используют для сгущения осадков перед их обезвоживанием, а также для предупреждения абразивного износа применяемых при этом шнековых центрифуг.

Центрифугирование. Для выделения взвешенных загрязнений на ряде предприятий применяют центрифугирование, представляющее собой процесс выделения загрязнений в поле центробежных сил, возникающих в центрифуге при вращении ротора. Центробежные силы могут превышать гравитационные в 100–3000 раз и более. Отдельные предприятия используют центрифуги для очистки сточных вод при ориентировочных расходах 1–200 м³/ч.

На ряде предприятий центрифуги успешно используют в схемах локальной очистки для удаления взвешенных мелкодисперсных загрязнений ($U < 0,2$ мм/с). Наибольшее распространение имеют шнековые центрифуги, несколько реже предприятия используют маятниковые центрифуги. При использовании шнековых центрифуг для предупреждения абразивного износа шнека на ряде предприятий водную суспензию пропускают через напорные гидроциклоны для выделения крупнодисперсных минеральных взвесей. Центрифугирование применяют на предприятиях главным образом для обработки осадка, выделенного на очистных сооружениях.

Флотационные методы очистки воды

Для очистки сточных вод от жидких (масла, нефтепродукты и проч.) и иных загрязнений многие предприятия применяют флотационные методы, основанные на выделении из жидкости веществ с помощью диспергированного воздуха. Кинетику процесса флотации определяют физико-химические характеристики твёрдых или жидких частиц, в том числе смачиваемость поверхности загрязняющих

веществ, способность адсорбироваться на поверхности пузырьков воздуха (газа), возможность образовывать с реагентами устойчивые гидрофобные соединения, а также поверхностное натяжение жидкой фазы (воды). Эффективность флотации определяется не только свойствами извлекаемых частиц, твёрдых и жидких загрязнений (масла, нефтепродукты, жиры, СПАВ и проч.), применяемых реагентов, но и гидравлической характеристикой аппаратов (флотокамер).

На большинстве предприятий при очистке сточных вод применяют напорную, импеллерную флотацию и электрофлотацию, использование которых зависит от объёма поступающих сточных вод, исходного качества загрязнений, а также необходимой степени очистки.

Образующийся в процессе флотационной очистки воды поверхностный продукт (флотопена), содержащий выделенные загрязнения и часто полезные компоненты, например, нефтепродукты, жиры и т. д., некоторые предприятия направляют на утилизацию. Выделившийся во флотаторе донный осадок также направляют на обработку.

Для интенсификации и повышения эффективности очистки воды процесс флотации на ряде предприятий используют в сочетании с реагентами (коагуляция, флокуляция), поскольку при этом обеспечивается высокий эффект очистки и сокращаются потери воды с отводимыми выделенными загрязнениями (в виде пены) в сравнении с процессом отстаивания.

Фильтрация. Для глубокой очистки воды от загрязнений большинство предприятий используют фильтрацию, представляющее собой процесс улавливания загрязнений в пористой среде, которая может быть образована зернистыми минеральными, искусственными полимерными и волокнистыми материалами. Процесс очистки происходит за счёт адгезии загрязнений к поверхности загрузки, а также вследствие их механического улавливания в её порах.

В качестве зернистых загрузок несколько предприятий используют песок, керамзит, цеолит, гравий, горелые породы, антрацит и проч.; многие предприятия используют искусственные загрузки (полистирол, пенополиуретан, волокнистые отходы синтетических волокон).

На ряде предприятий, очистные сооружения которых оборудованы в последнее десятилетие, предусмотрена регенерация

искусственных материалов, использованных в качестве загрузок. От эффективной регенерации фильтровальных загрузок зависят эффективность и продолжительность использования загрузки. На некоторых предприятиях зернистые фильтры дооснащали узлом интенсивной регенерации.

На рассмотренных предприятиях фильтры работают при подаче на них сточных вод как под давлением, так и без него. В первом случае они имеют герметичный корпус. Особую роль в конструкции фильтра играет дренажная система, через которую отводится очищенная в фильтре вода.

Магнитная сепарация. Для безреагентной очистки сточных вод отдельные предприятия используют высокоградиентные магнитные сепараторы. Для очистки сточных вод, образующихся, например, при производстве стали и проката, механической обработке металлов, подпитке котлов и тонкой очистке конденсата и содержащих ферромагнитные или парамагнитные вещества, используют электромагниты либо постоянные магниты.

Физико-химические методы

Для удаления из сточных вод коллоидных и растворенных загрязнений, исходя из свойств удаляемых веществ, характеристик обрабатываемых сточных вод, технико-экономических соображений, а также местных условий, большинство предприятий применяют физико-химические методы.

Физико-химические методы подразделяют на регенеративные и деструктивные.

Регенеративные методы основаны на применении химических, физических и физико-химических процессов, в которых удаляемое вещество извлекается из воды без изменения структуры, свойств и химического состава с целью дальнейшего использования. К ним относят коагулирование, флокулирование с отстаиванием и флотацией, редко — с фильтрованием, а также ионообменное извлечение и концентрирование, мембранные методы извлечения и концентрирования, адсорбцию, экстракцию, отгонку, отдувку с поглощением (дегазацию), отгонку с паром (эвапорацию), ректификацию, кристаллизацию и др.

Деструктивные методы базируются на химических и физико-химических процессах, в результате которых удаляемые вещества

претерпевают изменения, превращаясь в другие соединения или вещества, часто переходящие в иное фазовое состояние. К ним относят нейтрализацию кислот и оснований; химическое осаждение загрязняющих воду веществ в виде труднорастворимых соединений; электрохимическое и гальванохимическое осаждение; химическое окисление; электрохимическое окисление; жидкофазное окисление; сжигание; химическое восстановление; электрохимическое и гальванохимическое восстановление.

Регенеративные методы очистки сточных вод

Адсорбция. Для глубокой очистки и доочистки сточных вод от неполярных и полярных, малодиссоциированных органических соединений (алифатических, ароматических, алициклических углеводородов, их галогенпроизводных и нитропроизводных, синтетических красителей, СПАВ, фенолов, аминов, пестицидов, высших жирных и ароматических кислот) при исходных концентрациях извлекаемых веществ <15 мг/л многие предприятия применяют адсорбцию. На ряде предприятий адсорбция применяется при наличии в сточных водах механических примесей с концентрациями более 5 мг/л, что приводит к резкому сокращению сорбционной ёмкости адсорбционных фильтров вследствие сорбции механических загрязнений. Это значительно сокращает срок эксплуатации сорбционной загрузки.

Адсорбция, выполняемая на конечных стадиях очистки, обеспечивает высокое качество очищенной воды, соответствующее требованиям выпуска её в водоёмы рыбохозяйственного назначения.

Ионный обмен. Для очистки сточных вод от ионов металлов (в том числе тяжёлых), анионов минеральных и органических кислот с их концентрированием и утилизацией или обезвреживанием деструктивными методами, а также для умягчения и обессоливания воды при исходном солесодержании менее 3000 мг/л на ряде предприятий применяют технологии ионного обмена.

Дегазация. Для удаления из сточных вод растворенных кислых и щелочных газов ряд предприятий (преимущественно химической промышленности) применяют дегазацию (отдувку воздухом, инертными газами или паром) с использованием реагентов (химический метод) или с нагреванием и вакуумированием (физико-химический

метод) и продувкой воздухом в барботажных или насадочных аппаратах. При низких концентрациях газов в воде, нецелесообразности или невозможности их утилизации, а также при условии, что продукты обработки реагентами не препятствуют дальнейшей очистке или использованию сточных вод, отдельные предприятия применяют химические методы дегазации.

Мембранные методы

На многих предприятиях для очистки сточных вод применяют мембранные методы, к которым относятся ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос.

Бланк выполнения задания 6

Форма 6.1

1. Сточные воды энергетического комплекса

Цель очистки

Выбранная перспективная технология очистки промышленных сточных вод: ...

Описание выбранной ПТ: ...

2. Сточные воды нефтеперерабатывающей промышленности

Цель очистки

Выбранная перспективная технология очистки промышленных сточных вод: ...

Описание выбранной ПТ: ...

3. Сточные воды химической промышленности

Цель очистки

Выбранная перспективная технология очистки промышленных сточных вод: ...

Описание выбранной ПТ: ...

4. Сточные воды чёрной металлургии

Цель очистки

Выбранная перспективная технология очистки промышленных сточных вод: ...

Описание выбранной ПТ: ...

5. Сточные воды целлюлозно-бумажной промышленности

Цель очистки

Выбранная перспективная технология очистки промышленных сточных вод: ...

Описание выбранной ПТ: ...

6. Сточные воды машиностроительного комплекса

Цель очистки

Выбранная перспективная технология очистки промышленных сточных вод: ...

Описание выбранной ПТ: ...

Критерии оценки

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если правильно оформлены отчетные таблицы.

Оценка «не зачтено» – если неправильно оформлены отчетные таблицы.

Тема 6. Механические методы очистки сточных вод

Практическое задание 7

Очистка промышленных сточных вод от нефтепродуктов, минеральных масел и жиров

Цель задания – получить практические навыки выбора оборудования для очистки промышленных сточных вод от нефтепродуктов, минеральных масел и жиров.

Алгоритм выполнения практического задания

1. Изучите теоретическую часть задания.
2. Выберите вариант из табл. 7.3.
3. Анализируя исходные и остаточные концентрации нефтепродуктов и взвешенных веществ, сделайте вывод об эффективности применения данной модели (эффективно/неэффективно) (форма 7.1).
4. Оформите отчет о практическом задании (отчет включает титульный лист и заполненную форму 7.1) и защитите его у преподавателя.

Теоретический материал

Согласно ИТС 8-2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях», очистка сточных вод от нефтепродуктов, минеральных масел и жиров должна проводиться с применением одного или нескольких из нижеперечисленных подходов с учетом условий применимости:

а) отделение основного количества неэмульгированных нефтепродуктов (жиров) в нефтеловушках (жироловках);

б) отделение основного количества эмульгированных нефтепродуктов и жиров с помощью флотации и (или) аэробной биологической очистки;

в) использование деэмульгирующих химических веществ перед последующей механической и физико-химической очисткой;

г) тонкая очистка от нефтепродуктов с помощью коалесцентных фильтров, сорберов, биосорберов.

Для отделения основного количества эмульгированных нефтепродуктов и жиров при очистке промышленных сточных вод могут применяться очистные системы, включающие флотаторы. Например, флотаторы ФЛ производства компании ООО «НПО «Экосистема» (рис. 7.1).

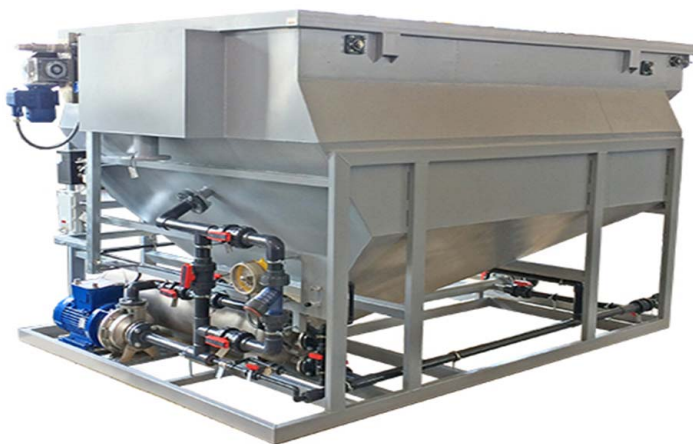


Рис. 7.1. Флотатор

(https://eco-systema.com/productions/modules/flotator_napornyy_uglerodistaya_stal/)

Процесс флотации. Исходные стоки подаются на флотатор в напорном режиме и поступают во флотационную камеру совместно с рециркуляционной водой, насыщенной воздухом. При сбросе давления растворенный воздух выделяется из воды в виде микропузырьков. Микропузырьки прилипают к частицам загрязнений и поднимают их в верхнюю часть камеры флотации (зону флотации), образуя пенный слой.

Сепарация на тонкослойных элементах. Очищаемая вода из зоны флотации поступает в зону сепарации, расположенную в нижней части флотационной камеры и оснащенную тонкослойными элементами. В данной секции происходит окончательное выделение растворенного воздуха, наличие тонкослойных элементов ускоряет всплытие микропузырьков.

Отвод очищенной воды. При выходе из тонкослойных элементов поток очищенной воды меняет направление на восходящее и поступает в камеру очищенной воды, откуда отводится самотеком.

Насыщение воды воздухом. Часть очищенной воды циркуляционным насосом подается в сатуратор, где происходит насыщение воды воздухом. Подача воздуха в воду производится через эжектор циркуляционного насоса. Из сатуратора насыщенная воздухом вода подается на вход камеры флотации.

Удаление флотопены. Флотопена удаляется с поверхности воды скребковым механизмом с электроприводом в приемный лоток, из которого отводится самотеком.

Вывод осадка. Образующийся осадок собирается в нижней конусной части флотационной камеры и периодически отводится из установки.

Эффективность установки. Флотаторы ФЛ позволяют очистить стоки от нефтепродуктов — с 500 до 0,5 мг/л, от взвешенных веществ — с 1000 до 3 мг/л, от жиров — с 500 до 10 мг/л.

Основные параметры эффективности флотаторов ФЛ приведены в табл. 7.1.

В флотаторах ФЛ применяется технология рециркуляции очищенной воды.

Разработаны модели взрывозащищенного исполнения.

В табл. 7.2 приведен модельный ряд флотаторов ФЛ.

Таблица 7.1

Эффективность установки

Наименование загрязнений	Допустимые концентрации на входе	Эффективность очистки
Нефтепродукты	До 500 мг/л	До 99 % (за исключением растворенной части)
Взвешенные вещества	До 1000 мг/л	До 95 %
Жиры	До 500 мг/л	До 95 %
Химическое потребление кислорода (ХПК)	До 4000 мгО ₂ /л	До 80 % (за исключением растворенной части)
Биохимическое потребление кислорода (БПК)	До 2500 мгО ₂ /л	До 80 % (за исключением растворенной части)

Таблица 7.2

Модельный ряд

Модель флотатора	Артикул	Производительность Q, м ³ /ч	Модель флотатора	Артикул	Производительность Q, м ³ /ч
ФЛ-1	32.01.01	1	ФЛ-40	32.01.09	40
ФЛ-2,5	32.01.02	2,5	ФЛ-50	32.01.10	50
ФЛ-5	32.01.03	5	ФЛ-65	32.01.11	65
ФЛ-10	32.01.04	10	ФЛ-80	32.01.12	80
ФЛ-15	32.01.05	15	ФЛ-100	32.01.13	100
ФЛ-20	32.01.06	20	ФЛ-130	32.01.14	130
ФЛ-25	32.01.07	25	ФЛ-160	32.01.15	160
ФЛ-32,5	32.01.08	32,5	ФЛ-200	32.01.16	200

Проверка эффективности применения выбранной модели

Зная исходную концентрацию в стоках нефтепродуктов и взвешенных веществ, а также их допустимые концентрации после флотации, можно сделать вывод об эффективности выбранной модели. Диапазон допустимых значений на рис. 7.2 и 7.3 выделен голубым цветом.

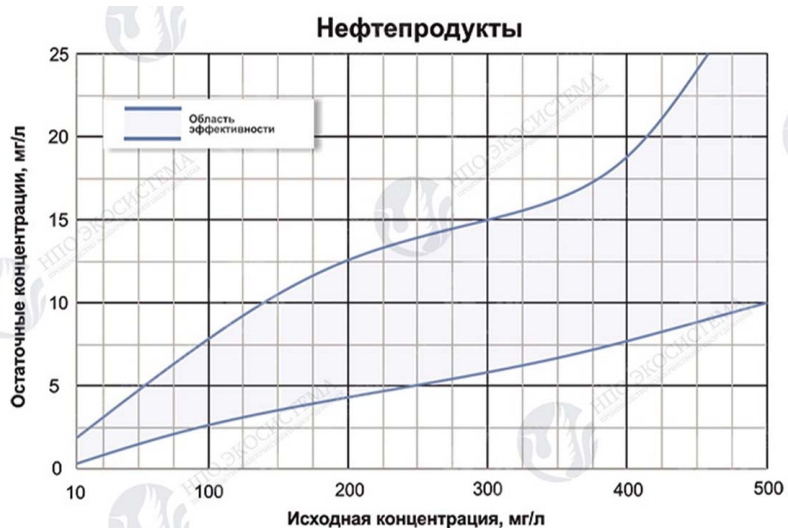


Рис. 7.2. Эффективность применения выбранной модели при очистке от нефтепродуктов (https://eco-systema.com/productions/modules/flotator_naporniy_uglerodistaya_stal/)

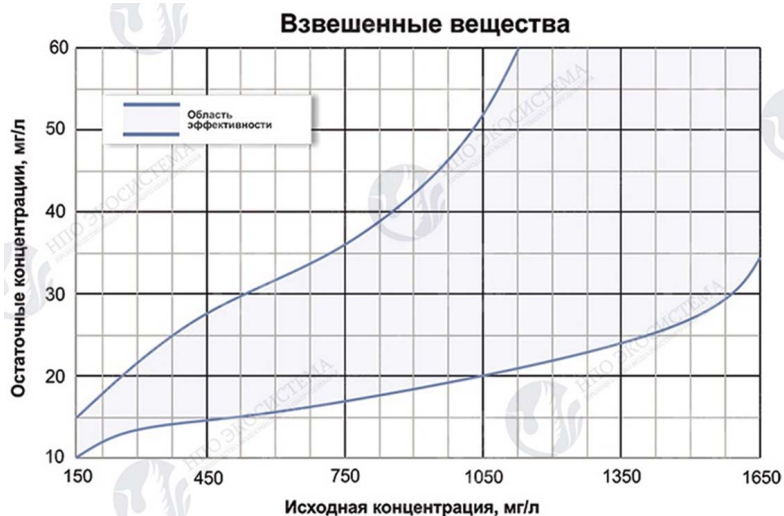


Рис.7.3. Эффективность применения выбранной модели при очистке от взвешенных веществ (https://eco-systema.com/productions/modules/flotator_naporniy_uglerodistaya_stal/)

Варианты задания

№ варианта	Объем стока Q , м ³ /ч	Исходная концентрация нефтепродуктов, мг/л	Остаточная концентрация нефтепродуктов, мг/л	Исходная концентрация взвешенных веществ, мг/л	Остаточная концентрация взвешенных веществ, мг/л
1	12	350	5	625	5
2	1	400	1	50	10
3	2,5	380	5	75	15
4	5	50	2	100	20
5	10	100	3	150	25
6	15	200	2,5	200	30
7	20	80	3	250	35
8	25	150	4	300	40
9	32,5	230	4,5	350	45
10	40	380	5	400	50
11	50	160	4	850	5
12	65	240	3,5	900	15
13	80	320	4	450	18
14	100	80	4,5	500	22
15	130	120	5	525	27
16	160	190	3	550	32
17	200	240	1,5	600	38
18	60	280	2	650	46
18	85	115	2,5	700	47
20	110	240	5	750	50
21	135	320	4	800	27
22	45	80	3,5	625	16
23	55	120	4	50	5
24	60	100	4,5	75	15
25	85	200	5	100	18

Окончание табл. 7.3

№ варианта	Объем стока Q, м ³ /ч	Исходная концентрация нефтепродуктов, мг/л	Остаточная концентрация нефтепродуктов, мг/л	Исходная концентрация взвешенных веществ, мг/л	Остаточная концентрация взвешенных веществ, мг/л
26	110	80	3	150	22
27	135	150	1,5	500	27
28	155	50	2	525	32
29	190	350	2,5	550	38
30	12	400	1,5	600	46
31	18	380	2	200	47
32	22	50	2,5	250	50
33	28	100	5	300	16
34	36	200	1	350	22
35	40	80	5	400	32
36	50	150	2	850	38
37	65	230	3	900	46
38	80	380	2,5	450	47
39	100	400	3	500	50
40	130	380	4	525	30
41	160	50	4,5	525	40
42	200	380	5	550	5
43	1	160	5	600	15
44	2,5	240	3	650	18
45	5	320	2,5	700	22
46	10	80	3	450	27
47	15	120	4	500	27
48	20	190	1,5	525	16
49	25	240	2	550	5
50	32,5	280	2,5	600	15

Бланк выполнения задания 7

Форма 7.1

Очистка сточных вод от нефтепродуктов,
минеральных масел и жиров

Вариант № _____

Производительность Q , м ³ /ч	Модель флотатора	Артикул	Исходная концентрация нефтепродуктов, мг/л	Остаточная концентрация нефтепродуктов, мг/л	Эффективность применения при очистке от нефтепродуктов	Исходная концентрация взвешенных веществ, мг/л	Остаточная концентрация взвешенных веществ, мг/л	Эффективность применения при очистке от взвешенных веществ

Критерии оценки

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если правильно оформлены отчетные таблицы.

Оценка «не зачтено» – если неправильно оформлены отчетные таблицы.

Тема 7. Физико-химические методы очистки сточных вод

Практическое задание 8 Удаление из сточных вод взвешенных веществ

Цель задания – получить практические навыки выбора оборудования для удаления из стоков взвешенных веществ и осветления воды.

Алгоритм выполнения практического задания

1. Изучите теоретический материал.
2. Выберите вариант задания из табл. 8.2.
3. Из трех предложенных моделей установок механической напорной фильтрации и для исходных данных, используя графики, определите продолжительности фильтроциклов (форма 8.1).
4. Оформите отчет о практическом задании (отчет включает титульный лист и заполненную форму 8.1) и защитите его у преподавателя.

Теоретический материал

В процессе очистки промышленных сточных вод приходится решать целый ряд разнообразных задач, одной из которых является удаление из стоков взвешенных веществ и осветление воды.

Для этих целей могут применяться установки механической напорной фильтрации УНФ производства компании ООО «НПО «Экосистема» (рис. 8.1).

Принцип работы

Исходная вода подается на параллельно расположенные корпуса фильтров и через верхнее распределительное устройство поступает внутрь корпуса фильтра, заполненного кварцевым песком (механические фильтры). Фильтрующий слой (кварцевый песок) обеспечивает очистку воды от механических примесей.

Очищенная вода через нижнее распределительное устройство собирается в общем коллекторе фильтра и под остаточным давлением отводится из установки.



Рис. 8.1. Установка механической напорной фильтрации УНФ³²

Периодически проводится регенерация фильтрующей загрузки, при этом промывная вода подается через нижнюю распределительную систему в нижнюю часть фильтрующего слоя. При восходящем движении воды создается псевдоожиженный слой, зерна расширившегося фильтрующего материала соударяются, задержанные ими загрязнения оттираются и попадают в промывную воду, которая удаляется через верхнее распределительное устройство и отводится в дренаж.

При выходе одного из фильтров в режим регенерации оставшиеся фильтры работают в форсированном режиме, обеспечивая необходимую производительность установки.

В табл. 8.1 приведен модельный ряд установок УНФ.

³² Установка механической напорной фильтрации УНФ https://eco-systema.com/productions/modules/ustanovka_filtratsii_dlya_ochistki_stochnykh_vod_UNF/ (дата обращения: 08.11.2022).

Таблица 8.1

Модельный ряд

Модель установки	Производительность установки Q , $\text{м}^3/\text{ч}$, при $V = 7 \text{ м}^3/\text{ч}$	Кол-во корпусов	D од-ного корпуса, мм	$S_{\text{ф}}$, м^2 од-ного фильтра	S_y , м^2 уста-новки	Вы-сота загрузок	Масса загрузок уголь/гравий, т
На базе корпусов 24×72, расположение патрубков: верх – низ, \varnothing 600 мм							
УНФ 24×72×2	3,9	2	600	0,28	0,56	0,9	0,250/0,200
УНФ 24×72×3	5,9	3	600	0,28	0,84	0,9	0,375/0,300
УНФ 24×72×4	7,8	4	600	0,28	1,12	0,9	0,500/0,400
На базе корпусов 30×72, расположение патрубков: верх – низ, \varnothing 750 мм							
УНФ 30×72×2	6,2	2	750	0,44	0,88	0,9	0,400/0,350
УНФ 30×72×3	9,2	3	750	0,4	1,32	0,9	0,600/0,525
УНФ 30×72×4	12,3	4	750	0,44	1,76	0,9	0,800/0,700
На базе корпусов 36×72, расположение патрубков: верх – низ, \varnothing 900 мм							
УНФ 36×72×2	8,8	2	900	0,63	1,26	0,9	0,550/0,550
УНФ 36×72×3	13,2	3	900	0,63	1,89	0,9	0,825/0,825
УНФ 36×72×4	17,6	4	900	0,63	2,52	0,9	1,100/1,100
На базе корпусов 42×72, расположение патрубков: верх – низ, \varnothing 1050 мм							
УНФ 42×72×2	12,0	2	1050	0,86	1,72	0,9	0,750/0,700
УНФ 42×72×3	18,1	3	1050	0,86	2,58	0,9	1,125/1,050
УНФ 42×72×4	24,1	4	1050	0,86	3,44	0,9	1,500/1,400
На базе корпусов 48×72, расположение патрубков: верх – низ, \varnothing 1200 мм							
УНФ 48×72×2	15,8	2	1200	1,13	2,26	0,9	1,000/0,950
УНФ 48×72×3	23,7	3	1200	1,13	3,39	0,9	1,500/1,425
УНФ 48×72×4	31,6	4	1200	1,13	4,52	0,9	2,000/1,900
На базе корпусов 48×96, расположение патрубков: боковое, \varnothing 1200 мм							
УНФ 48×96×2	15,8	2	1200	1,13	2,26	1,0	1,100/1,100
УНФ 48×96×3	23,7	3	1200	1,13	3,39	1,0	1,650/1,650
УНФ 48×96×4	31,6	4	1200	1,13	4,52	1,0	2,200/2,200
На базе корпусов 60×96, расположение патрубков: боковое, \varnothing 1500 мм							
УНФ 60×96×2	24,6	2	1500	1,76	3,52	1,0	1,700/1,750

Модель установки	Производительность установки Q , м ³ /ч, при $V = 7$ м/ч	Кол-во корпусов	D од-ного корпуса, мм	S_{ϕ} , м ² од-ного фильтра	S_y , м ² установка	Высота загрузки	Масса загрузки уголь/гравий, т
УНФ 60×96×3	37,0	3	1500	1,76	5,28	1,0	2,550/2,625
УНФ 60×96×4	49,3	4	1500	1,76	7,04	1,0	3,400/3,500
На базе корпусов 72×96, расположение патрубков: боковое, \varnothing 1800 мм							
УНФ 72×96×2	35,6	2	1800	2,54	5,08	1,0	2,450/2,500
УНФ 72×96×3	53,3	3	1800	2,54	7,62	1,0	3,675/3,750
УНФ 72×96×4	71,1	4	1800	2,54	10,16	1,0	4,900/5,000
На базе корпусов 80×96, расположение патрубков: боковое, \varnothing 2000 мм							
УНФ 80×96×2	44,0	2	2000	3,14	6,28	1,0	3,050/3,050
УНФ 80×96×3	65,9	3	2000	3,14	9,42	1,0	4,575/4,575
УНФ 80×96×4	88,0	4	2000	3,14	12,56	1,0	6,100/6,100

Определение эффективности установки

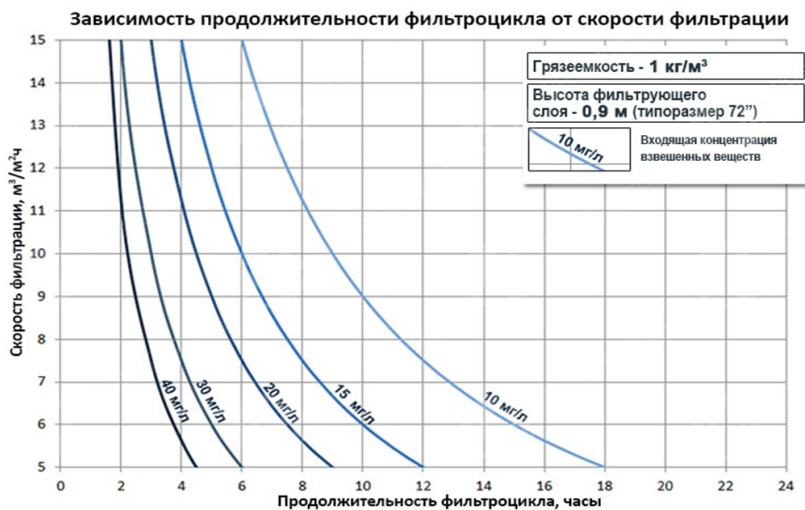
Шаг 1. Определение основных параметров работы осветительного фильтра.

Для определения фильтроцикла необходимо задать:

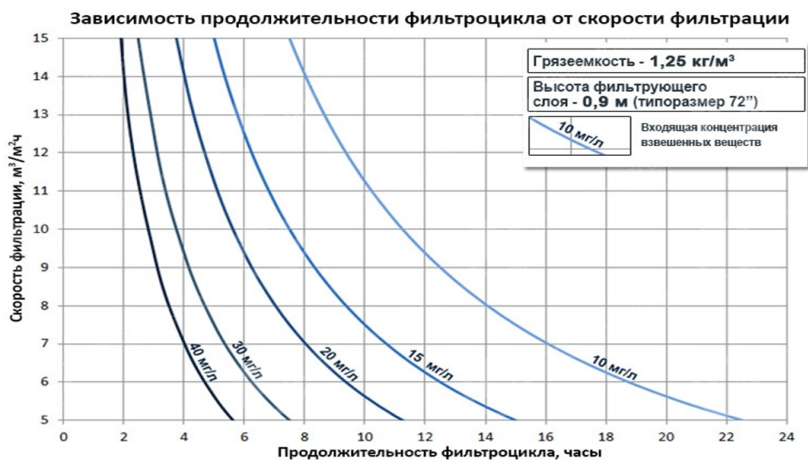
- скорость фильтрации, м/ч;
- грязеемкость загрузки, кг/м³;
- высоту загрузки, м;
- исходную концентрацию взвешенных веществ в воде на входе в осветительный фильтр, мг/л.

Шаг 2. Определение продолжительности фильтроцикла:

- выбрать вариант диаграммы (рис. 8.2, $a - d$), соответствующий заданным грязеемкости и высоте загрузки;
- выбрать на диаграмме линию исходной концентрации взвешенных веществ;
- найти точку пересечения горизонтальной прямой, соответствующей заданной скорости фильтрации, и линии концентрации;
- опустить перпендикуляр из найденной точки к оси абсцисс и определить продолжительность фильтроцикла.



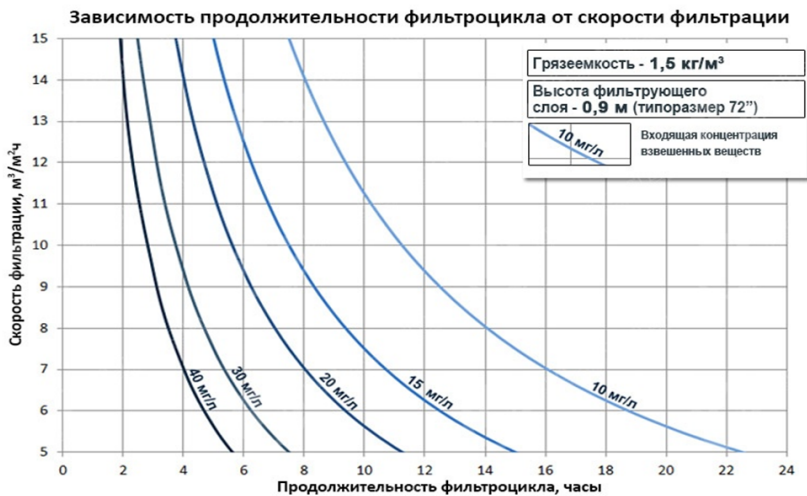
a



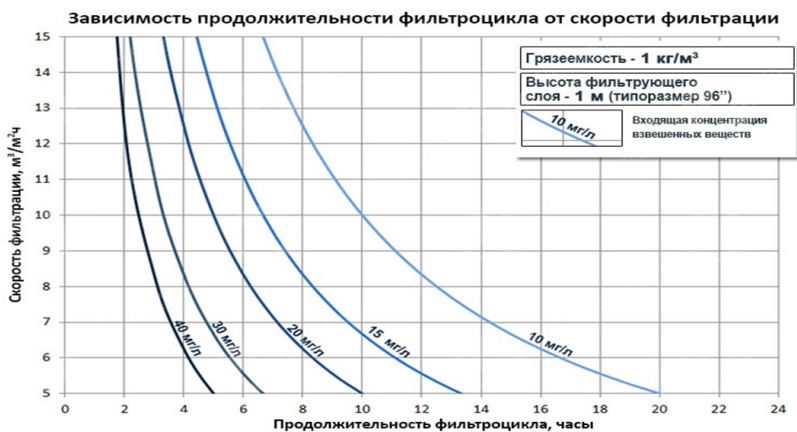
б

Рис. 8.2. Зависимость продолжительности фильтроцикла от скорости фильтрации³³

³³ Зависимость продолжительности фильтроцикла от скорости фильтрации (а). https://eco-systema.com/productions/modules/ustanovka_filtratsii_dlya_ochistki_stochnykh_vod_UNF/ (дата обращения: 08.04.2021).



6



2

Рис. 8.2. Зависимость продолжительности фильтроцикла от скорости фильтрации (*Продолжение*)

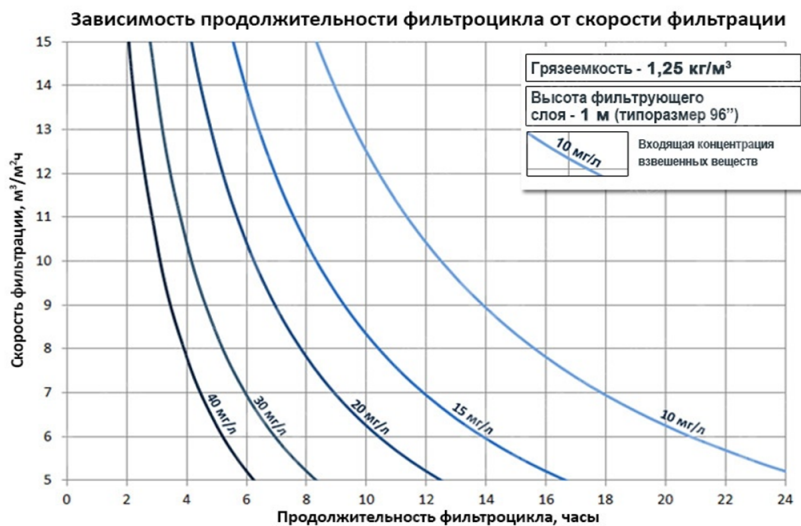
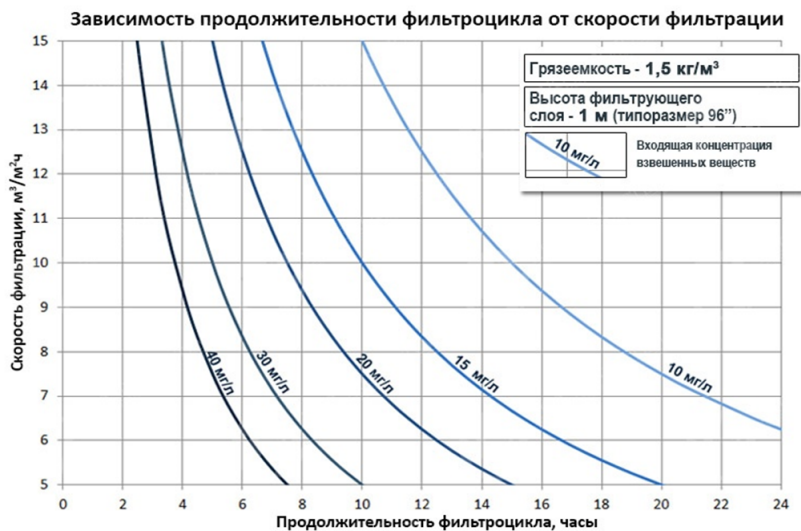


Рис. 8.2. Зависимость продолжительности фильтроцикла от скорости фильтрации (Окончание)

Таблица 8.2

Варианты задания

№ варианта	Модель установки	Скорость фильтрации, м/ч	Грязеемкость загрузки, кг/м ³	Концентрация взвешенных веществ исходная, мг/л
1	УНФ 24×72×2	5	1,0	20
	УНФ 48×96×3			
	УНФ 80×96×4			
2	УНФ 24×72×4	6	1,25	10
	УНФ 48×96×4			
	УНФ 80×96×2			
3	УНФ 24×72×3	7	1,5	15
	УНФ 48×96×2			
	УНФ 80×96×3			
4	УНФ 30×72×2	8	1,0	20
	УНФ 42×72×2			
	УНФ 72×96×2			
5	УНФ 30×72×3	9	1,25	30
	УНФ 42×72×3			
	УНФ 72×96×3			
6	УНФ 30×72×4	10	1,5	40
	УНФ 42×72×4			
	УНФ 72×96×4			
7	УНФ 60×96×2	11	1,0	10
	УНФ 36×72×2			
	УНФ 48×72×2			
8	УНФ 60×96×3	12	1,25	15
	УНФ 36×72×3			
	УНФ 48×72×3			
9	УНФ 60×96×4	13	1,5	20
	УНФ 36×72×4			
	УНФ 48×72×4			
10	УНФ 24×72×4	14	1,0	30
	УНФ 48×96×4			
	УНФ 80×96×2			
11	УНФ 24×72×3	15	1,25	40
	УНФ 48×96×2			
	УНФ 80×96×3			

Продолжение табл. 8.2

№ варианта	Модель установки	Скорость фильтрации, м/ч	Грязеемкость загрузки, кг/м ³	Концентрация взвешенных веществ исходная, мг/л
12	УНФ 30×72×2	5	1,5	10
	УНФ 42×72×2			
	УНФ 72×96×2			
13	УНФ 24×72×3	6	1,0	15
	УНФ 48×96×2			
	УНФ 80×96×3			
14	УНФ 30×72×2	7	1,25	20
	УНФ 42×72×2			
	УНФ 72×96×2			
15	УНФ 30×72×3	8	1,5	30
	УНФ 42×72×3			
	УНФ 72×96×3			
16	УНФ 60×96×3	9	1,0	40
	УНФ 36×72×3			
	УНФ 48×72×3			
17	УНФ 60×96×4	10	1,25	10
	УНФ 36×72×4			
	УНФ 48×72×4			
18	УНФ 24×72×4	11	1,5	15
	УНФ 48×96×4			
	УНФ 80×96×2			
19	УНФ 24×72×3	12	1,0	20
	УНФ 48×96×2			
	УНФ 80×96×3			
20	УНФ 30×72×2	13	1,25	30
	УНФ 42×72×2			
	УНФ 72×96×2			
21	УНФ 24×72×2	14	1,5	40
	УНФ 48×96×3			
	УНФ 80×96×4			
22	УНФ 24×72×4	15	1,0	10
	УНФ 48×96×4			
	УНФ 80×96×2			
23	УНФ 24×72×3	5	1,25	15
	УНФ 48×96×2			
	УНФ 80×96×3			

Продолжение табл. 8.2

№ варианта	Модель установки	Скорость фильтрации, м/ч	Грязеемкость загрузки, кг/м ³	Концентрация взвешенных веществ исходная, мг/л
24	УНФ 30×72×2	6	1,5	20
	УНФ 42×72×2			
	УНФ 72×96×2			
25	УНФ 30×72×3	7	1,0	30
	УНФ 42×72×3			
	УНФ 72×96×3			
26	УНФ 30×72×4	8	1,25	40
	УНФ 42×72×4			
	УНФ 72×96×4			
27	УНФ 60×96×2	9	1,5	10
	УНФ 36×72×2			
	УНФ 48×72×2			
28	УНФ 60×96×3	10	1,0	15
	УНФ 36×72×3			
	УНФ 48×72×3			
29	УНФ 60×96×4	11	1,25	20
	УНФ 36×72×4			
	УНФ 48×72×4			
30	УНФ 24×72×4	12	1,5	30
	УНФ 48×96×4			
	УНФ 80×96×2			
31	УНФ 30×72×4	13	1,0	40
	УНФ 42×72×4			
	УНФ 72×96×4			
32	УНФ 60×96×2	14	1,25	10
	УНФ 36×72×2			
	УНФ 48×72×2			
33	УНФ 60×96×3	15	1,5	15
	УНФ 36×72×3			
	УНФ 48×72×3			
34	УНФ 60×96×4	5	1,0	20
	УНФ 36×72×4			
	УНФ 48×72×4			
35	УНФ 24×72×4	6	1,25	30
	УНФ 48×96×4			
	УНФ 80×96×2			

Продолжение табл. 8.2

№ варианта	Модель установки	Скорость фильтрации, м/ч	Грязеемкость загрузки, кг/м ³	Концентрация взвешенных веществ исходная, мг/л
36	УНФ 24×72×3	7	1,5	40
	УНФ 48×96×2			
	УНФ 80×96×3			
37	УНФ 30×72×2	8	1,0	10
	УНФ 42×72×2			
	УНФ 72×96×2			
38	УНФ 24×72×3	9	1,25	15
	УНФ 48×96×2			
	УНФ 80×96×3			
39	УНФ 30×72×2	10	1,5	20
	УНФ 42×72×2			
	УНФ 72×96×2			
40	УНФ 30×72×3	11	1,0	30
	УНФ 42×72×3			
	УНФ 72×96×3			
41	УНФ 60×96×3	12	1,25	40
	УНФ 36×72×3			
	УНФ 48×72×3			
42	УНФ 60×96×4	13	1,5	10
	УНФ 36×72×4			
	УНФ 48×72×4			
43	УНФ 24×72×4	14	1,0	15
	УНФ 48×96×4			
	УНФ 80×96×2			
44	УНФ 24×72×3	15	1,25	20
	УНФ 48×96×2			
	УНФ 80×96×3			
45	УНФ 30×72×2	5	1,5	30
	УНФ 42×72×2			
	УНФ 72×96×2			
46	УНФ 24×72×2	6	1,0	40
	УНФ 48×96×3			
	УНФ 80×96×4			
47	УНФ 24×72×4	7	1,25	10
	УНФ 48×96×4			
	УНФ 80×96×2			

Окончание табл. 8.2

№ варианта	Модель установки	Скорость фильтрации, м/ч	Грязеемкость загрузки, кг/м ³	Концентрация взвешенных веществ исходная, мг/л
48	УНФ 24×72×3	8	1,5	15
	УНФ 48×96×2			
	УНФ 80×96×3			
49	УНФ 30×72×2	9	1,0	20
	УНФ 42×72×2			
	УНФ 72×96×2			
50	УНФ 30×72×3	10	1,25	30
	УНФ 42×72×3			
	УНФ 72×96×3			

Бланк выполнения задания 8

Форма 8.1

Удаление из сточных вод взвешенных веществ

Вариант № _____

Модель установки	Производительность установки Q , м ³ /ч, при $V = 7$ м/ч	Кол-во корпусов	D одного корпуса, мм	S_y , м ² установки	Высота загрузки	Масса загрузок уголь/гравий, т	Продолжительность цикла, ч

Критерии оценки

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если правильно оформлены отчетные таблицы.

Оценка «не зачтено» – если неправильно оформлены отчетные таблицы.

Тема 8. Наилучшие доступные технологии в области очистки сточных вод

Практическое задание 9 Выбор наилучших доступных технологий очистки промышленных сточных вод, относящихся к приоритетным областям их применения

Цель работы – получить практические навыки выбора наилучших доступных технологий, относящихся к приоритетным областям их применения.

Нормативные документы

ИТС 8-2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях» (утв. Приказом Росстандарта от 15.12.2015 № 1578) <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=OTN;n=13634>.

Алгоритм выполнения практического задания

1. Изучите ИТС 8-2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях» (утв. Приказом Росстандарта от 15.12.2015 № 1578).
2. Выберите вариант задания из табл. 9.1 и 9.2.
3. Используя материалы теоретической части для каждой цели очистки своего варианта, выберите наилучшие доступные технологии в области очистки сточных вод с учетом условий применимости и занесите их в бланк выполнения задания.
4. Оформите отчет о практическом задании (отчет включает титульный лист и заполненную форму 9.1) и защитите его у преподавателя.

Теоретический материал

Основной целью разработки справочника наилучших доступных технологий (НДТ) является создание базового инструмента для внедрения НДТ в области очистки сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг

на крупных предприятиях. Справочник НДТ предназначен как для регулирующих органов (использование при выдаче хозяйствующим субъектам комплексных экологических разрешений), так и для хозяйствующих субъектов (использование при формировании экологической политики предприятия и внедрении НДТ).

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (далее – справочник НДТ) является документом по стандартизации.

Краткая характеристика

Справочник НДТ является межотраслевым («горизонтальным») и вследствие этого носит методический характер и содержит обобщенную информацию, сведения общего характера, общие подходы к межотраслевым технологиям, техническим и управленческим решениям по очистке сточных вод. Справочник НДТ содержит описания применяемых в настоящее время в Российской Федерации универсальных подходов и методов, использующихся при очистке сточных вод на предприятиях, относящихся к областям применения НДТ, определенным распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р. Из этих подходов и методов выделены решения, признанные наилучшими доступными технологиями для приоритетных областей применения НДТ, включая по возможности соответствующие параметры экологической результативности, ресурсо- и энергоэффективности, а также экономические показатели.

Область применения

Межотраслевой справочник НДТ разработан во взаимосвязи с отраслевыми справочниками, разрабатываемыми в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р, и включает описание универсальных подходов и методов, применимых при очистке сточных вод на предприятиях, относящихся к областям применения НДТ, определенным распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р.

Справочник НДТ носит методический характер и содержит обобщенную информацию, сведения общего характера, общие подходы к межотраслевым технологиям, техническим и управленческим решениям по очистке сточных вод. Справочник НДТ не содержит

перечней маркерных веществ для каких-либо отраслей промышленности. Рекомендации, содержащиеся в настоящем межотраслевом («горизонтальном») справочнике НДТ, подлежат применению в случае отсутствия соответствующих рекомендаций в отраслевом («вертикальном») справочнике НДТ, к области применения которого относится рассматриваемое предприятие (объект).

Для областей применения НДТ в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 24.12.2014 № 2674-р разрабатываются соответствующие отраслевые («вертикальные») справочники.

В рамках справочника НДТ особо рассматриваются технологии очистки сточных вод на предприятиях приоритетных областей использования НДТ применительно к целям настоящего справочника НДТ, в которых:

- объемы образования сточных вод сравнительно велики;
- проблемы, связанные с обращением со сточными водами, достаточно специфичны, однако обладают и общими с другими отраслями характеристиками.

В справочнике НДТ особо не рассматриваются технологии очистки сточных вод на предприятиях:

- основной целью которых является обеспечение национальной международной безопасности либо единственной целью которых является защита объектов и (или) территорий от природных катастроф;
- очистка сточных вод которых осуществляется исключительно с помощью универсальных НДТ очистки сточных вод, приведенных в разделе 4, и (или) НДТ, специфичных для одной или нескольких областей применения НДТ, рассмотренных в разделе 5, и (или) предприятия, состав сточных вод которых максимально приближен к составу хозяйственно-бытовых сточных вод;
- очистка специфических сточных вод которых, по имеющейся информации, подробно рассматривается в соответствующих отраслевых («вертикальных») справочниках;
- обращение которых со сточными водами и (или) с загрязняющими веществами, содержащимися в таких сточных водах, регулируется специальным законодательством;

– основной целью которых является обеспечение энергетической безопасности населения и предприятий Российской Федерации путем бесперебойного энергоснабжения электрической и тепловой энергией в режиме комбинированного производства.

Справочник НДТ подлежит применению на объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду и отнесенных к объектам I и II категорий в соответствии с критериями, утвержденными Постановлением Правительства Российской Федерации от 28 сентября 2015 № 1029 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий».

Наилучшие доступные технологии, относящиеся к приоритетным областям применения НДТ

Применение нижеперечисленных НДТ позволяет решать актуальные экологические проблемы предприятий приоритетных областей применения НДТ и выполнять требования, предъявляемые к сточным водам, образующимся при нормальном режиме работы этих предприятий. В ряде случаев к НДТ отнесены также подходы, применяемые к сбросам вод, образующихся в аварийном режиме.

Таким образом, общий алгоритм выбора НДТ обращения со сточными водами на конкретном предприятии выглядит следующим образом:

- выбор НДТ из раздела 4 «НДТ предотвращения негативного воздействия обработки сточных вод на окружающую среду» с учетом указанных ограничений применения НДТ;
- анализ потоков сточных вод предприятия;
- выбор НДТ из раздела 5 «НДТ недопущения сбросов и утечек неочищенных сточных вод из систем их транспортирования на очистные сооружения» с учетом области применения и указанных ограничений применения НДТ.

В справочнике НДТ даны предварительные рекомендации об этапе жизненного цикла предприятия, на котором возможно внедрение каждой из приведенных НДТ. При этом под новыми предприятиями подразумеваются предприятия, находящиеся в стадии проектирования и, в некоторых специально не оговоренных случаях, в стадии строительства и пусконаладки; под действующими

предприятиями — эксплуатируемые предприятия; под модернизируемыми предприятиями — действующие предприятия, на которых реализуется программа масштабной модернизации с заменой оборудования и совершенствованием технологических процессов или планируется реализация такой программы. Аналогичное содержание у понятий «новые очистные сооружения», «действующие очистные сооружения», «модернизируемые очистные сооружения».

Подразумевается, что все технологии, которые могут быть применены на действующих объектах, также могут быть применены на модернизируемых и новых, и все технологии, которые могут быть применены на модернизируемых объектах, также могут быть применены и на новых.

При этом, кроме специально оговоренных случаев, подразумевалось, что на новых предприятиях могут быть внедрены все указанные НДТ, поэтому возможность их внедрения на новых предприятиях особо не указывалась. Поскольку на момент формирования настоящего справочника НДТ достоверная информация по внедрению нижеприведенных НДТ практически отсутствовала (не более 4 % рассмотренных анкет, поступивших от предприятий), выводы о возможности внедрения НДТ на действующем и (или) модернизируемом предприятии делались на основе экспертных оценок специалистов соответствующих отраслей, членов рабочей группы, а также предложений, представленных на этапе общественного обсуждения справочника НДТ.

НДТ В-1. Сокращение поступления в сточные воды особо опасных и биологически неразлагаемых загрязняющих веществ

НДТ является сокращение поступления в сточные воды особо опасных и биологически неразлагаемых загрязняющих веществ с помощью любого из нижеперечисленных методов или их сочетания с учетом условий применимости:

а) отказ от использования в производстве хлора во избежание образования хлорорганических веществ;

б) отказ от использования в производстве особо опасных веществ (например, полихлорированных бифенилов (ПХБ), пентахлорфенола, трихлорбензола, алкилфенолэтоксилатов мышьяка, ртути и их соединений, кадмия) с переходом на технологии, их не использующие;

в) замена в производстве биологически неразлагаемых химикатов на биологически разлагаемые, безвредные для окружающей среды, например, биоразлагаемые хелатные реагенты, чистящие средства;

г) раздельный сбор и удаление остатка дезинфицирующих веществ после их использования, а также использованных консервантов.

Подходы **а** и **б** подлежат применению на модернизируемых объектах, подходы **в** и **г** — на действующих объектах.

НДТ В-2. Удаление из сточных вод загрязняющих веществ в соответствии с их фазово-дисперсным составом

НДТ является последовательное удаление загрязняющих веществ в соответствии с их фазово-дисперсным составом, начиная с грубодисперсных загрязнений и заканчивая ионными формами посредством применения одного или нескольких из нижеперечисленных подходов с учетом условий применимости:

а) удаление грубодисперсных примесей из сточных вод до основных технологических стадий очистки;

б) отделение твердой фазы сточных вод методом фильтрации через сита или фильтроткань;

в) отделение быстрооседающих частиц в песколовках и гидроциклонах;

г) отделение основного количества взвешенных веществ с помощью отстаивания либо флотации;

д) интенсификация процессов отстаивания и флотации с помощью коагулянтов и флокулянтов, а также интенсификация процессов отстаивания с помощью введения затравок образования флокул/кристаллов/осадка, в том числе микропеска, и оборудования отстойников тонкослойными элементами при реконструкции распределительных узлов;

е) тонкая очистка от взвешенных веществ с помощью фильтров;

ж) глубокая очистка от взвешенных веществ с помощью мембран.

Подходы **а** – **ж** подлежат применению на модернизируемых объектах.

НДТ В-3. Очистка сточных вод от нефтепродуктов, минеральных масел и жиров

НДТ является применение одного или нескольких из нижеперечисленных подходов с учетом условий применимости:

а) отделение основного количества неэмульгированных нефтепродуктов (жиров) в нефтеловушках (жироловках);

б) отделение основного количества эмульгированных нефтепродуктов и жиров с помощью флотации и (или) аэробной биологической очистки;

в) использование деэмульгирующих химических веществ перед последующей механической и физико-химической очисткой;

г) тонкая очистка от нефтепродуктов с помощью коалесцентных фильтров, сорберов, биосорберов.

НДТ В-4. Очистка сточных вод от биологически разлагаемых органических загрязнений

НДТ является применение нижеперечисленных подходов с учетом условий применимости:

а) анаэробная биологическая очистка в биореакторах с удержанием биомассы. Применяется при концентрации БПК₅ в сточных водах, как правило, не менее 1500 мг/л и БПК₅/ХПК более 0,3 (на локальных очистных сооружениях применяется как самостоятельная стадия очистки (с удалением сероводорода при необходимости), при сбросе в водные объекты – как первая стадия биологической очистки);

б) отделение основного количества неэмульгированных нефтепродуктов методом сепарации;

в) анаэробная биологическая очистка в биореакторах-смесителях (применяется при концентрации БПК₅ в сточных водах (жидких отходах), как правило, при высоком содержании взвешенных веществ (более 20 г/л); обязательно должна сопровождаться последующей аэробной биологической очисткой жидкой фазы, за исключением случаев почвенной утилизации обработанной сточной воды);

г) аэробная биологическая очистка в аэротенках, биофильтрах и на комбинированных сооружениях (применяется при концентрации БПК₅ в сточных водах, как правило, не более 2000 мг/л и БПК₅/ХПК более 0,3);

д) аэробная биологическая доочистка в биофильтрах и биопрудах после аэробной биологической очистки;

е) управление подачей воздуха в сооружения аэробной биологической очистки производится по сигналу от датчиков растворенного кислорода с использованием частотного регулирования электроприводов воздуходувок;

ж) обеззараживание сточных вод животноводческих и птицеводческих комплексов химическими и физическими способами.

Подходы **а – е** подлежат применению на модернизируемых объектах.

НДТ В-5. Удаление из сточных вод азота

НДТ является применение нижеперечисленных подходов с учетом условий применимости:

а) отгонка аммонийного азота паром с добавлением щелочи (применяется при концентрациях аммонийного азота свыше 1 г/л);

б) биологическая нитрификация – денитрификация в аэротенках, затопленных или дисковых биофильтрах (применяется при концентрациях аммонийного азота менее 1 г/л);

в) доочистка от соединений азота в биопрудах.

Подходы **а – в** подлежат применению на модернизируемых объектах.

НДТ В-6. Удаление из сточных вод фосфора

НДТ является применение нижеперечисленных подходов с учетом условий применимости:

а) биологическая очистка (с удалением азота) с улучшенным биологическим удалением фосфора;

б) осаждение фосфатов реагентами на стадиях осветления, биологической очистки либо доочистки фильтрацией;

в) выделение в форме нерастворимых соединений методом кристаллизации с последующим использованием;

г) биологическая очистка (с удалением азота) с улучшенным биологическим удалением фосфора и дополнительным осаждением реагентами;

д) доочистка от соединений фосфора (и азота) в биопрудах.

Подходы **а – д** подлежат применению на модернизируемых объектах.

НДТ В-7. Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения

НДТ является применение одного или нескольких нижеперечисленных подходов, в том числе перед подачей сточных вод на сооружения биологической очистки, с учетом условий применимости:

а) химическое окисление при БПК/ХПК менее 0,3; могут присутствовать ограничения в использовании из-за риска образования органических галогенидов при использовании в качестве окислителей хлора, гипохлорита и хлорита (или соответствующих галогеновых соединений);

б) флокуляция и осаждение (флотация) при наличии высоких концентраций смол и ПАУ;

в) экстракция органическими растворителями с последующей отгонкой при БПК/ХПК менее 0,2. Применимо к загрязнениям, которые лучше растворимы в органических растворителях, чем в воде;

г) адсорбция на активных углях при БПК/ХПК менее 0,2. Может также применяться как доочистка после биологической очистки;

д) химический гидролиз при БПК/ХПК менее 0,2;

е) ультрафильтрация с извлечением сложных органических и органоминеральных компонентов сточных вод, в том числе для возврата в основной или вспомогательный производственные процессы;

ж) вакуумное упаривание для сложных многокомпонентных концентрированных сточных вод с высоким содержанием биологически неразлагаемых или токсичных веществ.

Подходы **а – ж** подлежат применению на модернизируемых объектах.

НДТ В-8. Очистка сточных вод, содержащих тяжелые металлы

НДТ является применение одного или нескольких нижеперечисленных подходов с учетом условий применимости:

а) реагентное осаждение с одновременной нейтрализацией (как правило, известью);

б) выделение в форме нерастворимых соединений методом кристаллизации с последующим использованием (применяется для средне- и высококонцентрированных сточных вод и отработанных растворов);

в) биологическое восстановление металлов из анионов (хроматредукция, сульфатредукция и др.) (применяется для сточных вод, содержащих тяжелые металлы в виде анионов в состоянии максимальной степени окисления);

г) доочистка от ионов тяжелых металлов адсорбцией на органических и минеральных адсорбентах;

д) глубокое удаление нерастворимых соединений и ионов тяжелых металлов из сточных вод, загрязненных биологически разлагаемыми органическими веществами в процессе биологической очистки;

е) глубокое удаление нерастворимых соединений тяжелых металлов после реагентной обработки с помощью нанофильтрации;

ж) глубокое удаление нерастворимых соединений и ионов тяжелых металлов с помощью обратного осмоса.

Подходы **а – ж** подлежат применению на модернизируемых объектах.

НДТ В-9. Очистка сточных вод от сульфидов

НДТ является применение одного или нескольких нижеперечисленных подходов с учетом условий применимости:

а) каталитическое окисление;

б) биохимическое окисление в биофильтрах.

Подходы **а** и **б** подлежат применению на модернизируемых объектах.

НДТ В-10. Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)

НДТ является применение одного или нескольких нижеперечисленных подходов с учетом условий применимости:

а) осаждение реагентами сульфатов, кальция, магния;

б) биологическая сульфатредукция;

в) выделение неорганических солей с помощью обратного осмоса и электродиализа.

Подходы **а – в** подлежат применению на модернизируемых объектах.

НДТ В-11. Сокращение массы осадка, образующегося на очистных сооружениях

НДТ является обезвоживание осадка, образующегося на очистных сооружениях, посредством применения одного из нижеперечисленных подходов с учетом условий применимости:

- а) механическое обезвоживание в центрифугах, на ленточных и камерных фильтр-прессах, шнековых прессах, дегидраторах;
- б) обезвоживание в геоконтейнерах (геотубах).

Подходы **а** и **б** подлежат применению на модернизируемых объектах.

НДТ В-12. Стабилизация органического вещества осадка

НДТ является применение одного или нескольких нижеперечисленных подходов с учетом условий применимости:

а) анаэробная стабилизация жидких осадков, включая обработку и утилизацию биогаза (применяется при образовании более 20 т органического вещества в сутки (осадки сооружений первичного отстаивания и биологической очистки));

б) термическая сушка осадка (применяется для последующего сжигания осадка);

в) сжигание осадка (применяется при наличии в осадке токсичных соединений);

г) аэробная стабилизация обезвоженных осадков (компостирование) (применяется для последующей почвенной утилизации компоста).

Подходы **а – в** подлежат применению на модернизируемых объектах.

Подход **г** подлежит применению на действующих объектах.

НДТ В-13. Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения

НДТ является применение одного из нижеперечисленных подходов с учетом условий применимости:

а) сгущение и обезвоживание осадков водоподготовки;

б) концентрирование промывных вод ионитовых фильтров обессоливания или умягчения воды методом обратного осмоса.

Подходы **а** и **б** подлежат применению на модернизируемых объектах.

Выбор варианта

Первые две буквы фамилии	Вариант	Первые две буквы фамилии	Вариант
Аа – Ак	1	Ол – Оя	26
Ал – Ая	2	Па – Пк	27
Ба – Бк	3	Пл – Пя	28
Бл – Бя	4	Ра – Рк	29
Ва – Вк	5	Рл – Ря	30
Вл – Вя	6	Са – Ск	31
Га – Гк	7	Сл – Ся	32
Гл – Гя	8	Та – Тк	33
Да – Дк	9	Тл – Тя	34
Дл – Дя	10	Уа – Ук	35
Еа – Ея	11	Ул – Уя	36
Ёа – Ёя	12	Фа – Фя	37
Жа – Жя	13	Ха – Хя	38
За – Зя	14	Ца – Ця	39
Иа – Ик	15	Ча – Чя	40
Ил – Ия	16	Ша – Шл	41
Ка – Кк	17	Шм – Шя	42
Кл – Кя	18	Ща – Щл	43
Ла – Лк	19	Щм – Щя	44
Лл – Ля	20	Эа – Эк	45
Ма – Мк	21	Эл – Эя	46
Мл – Мя	22	Юа – Юк	47
На – Нк	23	Юл – Юя	48
Нл – Ня	24	Яа – Як	49
Оа – Ок	25	Ял – Яя	50

Таблица 9.2

Варианты заданий по выбору наилучших доступных технологий,
относящихся к приоритетным областям их применения

№ варианта	Задание	Цель очистки
1	Задание 1	Очистка сточных вод от сульфидов
	Задание 2	Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
2	Задание 1	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
	Задание 2	Очистка сточных вод от сульфидов
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих тяжелые металлы
3	Задание 1	Очистка сточных вод, содержащих тяжелые металлы
	Задание 2	Стабилизация органического вещества осадка
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения
4	Задание 1	Очистка сточных вод от нефтепродуктов, минеральных масел и жиров
	Задание 2	Очистка сточных вод, содержащих тяжелые металлы
	Задание 3	Сокращение поступления в сточные воды особо опасных и биологически неразлагаемых загрязняющих веществ
5	Задание 1	Удаление из сточных вод фосфора
	Задание 2	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения
	Задание 3	Сокращение поступления в сточные воды особо опасных и биологически неразлагаемых загрязняющих веществ

№ варианта	Задание	Цель очистки
6	Задание 1	Стабилизация органического вещества осадка
	Задание 2	Удаление из сточных вод фосфора
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения
7	Задание 1	Удаление из сточных вод фосфора
	Задание 2	Удаление из сточных вод азота
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
8	Задание 1	Удаление из сточных вод азота
	Задание 2	Очистка сточных вод от биологически разлагаемых органических загрязнений
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
9	Задание 1	Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)
	Задание 2	Очистка сточных вод от нефтепродуктов, минеральных масел и жиров
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
10	Задание 1	Стабилизация органического вещества осадка
	Задание 2	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения
11	Задание 1	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
	Задание 2	Обезвоживание осадка, образующегося на очистных сооружениях
	Задание 3	Сокращение поступления в сточные воды особо опасных и биологически неразлагаемых загрязняющих веществ

№ варианта	Задание	Цель очистки
12	Задание 1	Очистка сточных вод от сульфидов
	Задание 2	Удаление загрязняющих веществ в соответствии с их фазово-дисперсным составом, начиная с грубодисперсных загрязнений и заканчивая ионными формами
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения
13	Задание 1	Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)
	Задание 2	Сокращение поступления в сточные воды особо опасных и биологически неразлагаемых загрязняющих веществ
	Задание 3	Удаление загрязняющих веществ в соответствии с их фазово-дисперсным составом, начиная с грубодисперсных загрязнений и заканчивая ионными формами
14	Задание 1	Удаление из сточных вод азота
	Задание 2	Очистка сточных вод от биологически разлагаемых органических загрязнений
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
15	Задание 1	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
	Задание 2	Очистка сточных вод от сульфидов
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих тяжелые металлы
16	Задание 1	Удаление из сточных вод фосфора
	Задание 2	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения
	Задание 3	Сокращение поступления в сточные воды особо опасных и биологически неразлагаемых загрязняющих веществ

№ варианта	Задание	Цель очистки
17	Задание 1	Очистка сточных вод от нефтепродуктов, минеральных масел и жиров
	Задание 2	Очистка сточных вод, содержащих тяжелые металлы
	Задание 3	Сокращение поступления в сточные воды особо опасных и биологически неразлагаемых загрязняющих веществ
18	Задание 1	Очистка сточных вод, содержащих тяжелые металлы
	Задание 2	Стабилизация органического вещества осадка
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения
19	Задание 1	Удаление из сточных вод азота
	Задание 2	Очистка сточных вод от биологически разлагаемых органических загрязнений
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
20	Задание 1	Удаление из сточных вод фосфора
	Задание 2	Удаление из сточных вод азота
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
21	Задание 1	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
	Задание 2	Обезвоживание осадка, образующегося на очистных сооружениях
	Задание 3	Сокращение поступления в сточные воды особо опасных и биологически неразлагаемых загрязняющих веществ
22	Задание 1	Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)
	Задание 2	Очистка сточных вод от нефтепродуктов, минеральных масел и жиров
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения

№ варианта	Задание	Цель очистки
23	Задание 1	Стабилизация органического вещества осадка
	Задание 2	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения
24	Задание 1	Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)
	Задание 2	Сокращение поступления в сточные воды особо опасных и биологически неразлагаемых загрязняющих веществ
	Задание 3	Удаление загрязняющих веществ в соответствии с их фазово-дисперсным составом, начиная с грубодисперсных загрязнений и заканчивая ионными формами
25	Задание 1	Стабилизация органического вещества осадка
	Задание 2	Удаление из сточных вод фосфора
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения
26	Задание 1	Очистка сточных вод от сульфидов
	Задание 2	Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
27	Задание 1	Очистка сточных вод, содержащих тяжелые металлы
	Задание 2	Удаление из сточных вод фосфора
	Задание 3	Стабилизация органического вещества осадка
28	Задание 1	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
	Задание 2	Очистка сточных вод от сульфидов
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих тяжелые металлы

№ варианта	Задание	Цель очистки
29	Задание 1	Очистка сточных вод, содержащих тяжелые металлы
	Задание 2	Стабилизация органического вещества осадка
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения
30	Задание 1	Очистка сточных вод от нефтепродуктов, минеральных масел и жиров
	Задание 2	Очистка сточных вод, содержащих тяжелые металлы
	Задание 3	Сокращение поступления в сточные воды особо опасных и биологически неразлагаемых загрязняющих веществ
31	Задание 1	Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)
	Задание 2	Очистка сточных вод от нефтепродуктов, минеральных масел и жиров
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
32	Задание 1	Стабилизация органического вещества осадка
	Задание 2	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения
33	Задание 1	Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)
	Задание 2	Сокращение поступления в сточные воды особо опасных и биологически неразлагаемых загрязняющих веществ
	Задание 3	Удаление загрязняющих веществ в соответствии с их фазово-дисперсным составом, начиная с грубодисперсных загрязнений и заканчивая ионными формами
34	Задание 1	Стабилизация органического вещества осадка
	Задание 2	Удаление из сточных вод фосфора
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения

№ варианта	Задание	Цель очистки
35	Задание 1	Очистка сточных вод от сульфидов
	Задание 2	Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
36	Задание 1	Стабилизация органического вещества осадка
	Задание 2	Удаление из сточных вод фосфора
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения
37	Задание 1	Удаление из сточных вод фосфора
	Задание 2	Удаление из сточных вод азота
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
38	Задание 1	Удаление из сточных вод азота
	Задание 2	Очистка сточных вод от биологически разлагаемых органических загрязнений
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
39	Задание 1	Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)
	Задание 2	Очистка сточных вод от нефтепродуктов, минеральных масел и жиров
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
40	Задание 1	Стабилизация органического вещества осадка
	Задание 2	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения

№ варианта	Задание	Цель очистки
41	Задание 1	Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)
	Задание 2	Очистка сточных вод от нефтепродуктов, минеральных масел и жиров
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
42	Задание 1	Стабилизация органического вещества осадка
	Задание 2	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения
43	Задание 1	Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)
	Задание 2	Сокращение поступления в сточные воды особо опасных и биологически неразлагаемых загрязняющих веществ
	Задание 3	Удаление загрязняющих веществ в соответствии с их фазово-дисперсным составом, начиная с грубодисперсных загрязнений и заканчивая ионными формами
44	Задание 1	Стабилизация органического вещества осадка
	Задание 2	Удаление из сточных вод фосфора
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения
45	Задание 1	Очистка сточных вод от сульфидов
	Задание 2	Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения

№ варианта	Задание	Цель очистки
46	Задание 1	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
	Задание 2	Обезвоживание осадка, образующегося на очистных сооружениях
	Задание 3	Сокращение поступления в сточные воды особо опасных и биологически неразлагаемых загрязняющих веществ
47	Задание 1	Очистка сточных вод от сульфидов
	Задание 2	Удаление загрязняющих веществ в соответствии с их фазово-дисперсным составом, начиная с грубодисперсных загрязнений и заканчивая ионными формами
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих биологически неразлагаемые и (или) токсичные органические загрязнения
48	Задание 1	Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)
	Задание 2	Сокращение поступления в сточные воды особо опасных и биологически неразлагаемых загрязняющих веществ
	Задание 3	Удаление загрязняющих веществ в соответствии с их фазово-дисперсным составом, начиная с грубодисперсных загрязнений и заканчивая ионными формами
49	Задание 1	Удаление из сточных вод азота
	Задание 2	Очистка сточных вод от биологически разлагаемых органических загрязнений
	Задание 3	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
50	Задание 1	Обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения
	Задание 2	Очистка сточных вод от сульфидов
	Задание 3	Очистка сточных вод, содержащих тяжелые металлы

Бланк выполнения задания 9

Форма 9.1

Выбор наилучших доступных технологий очистки
промышленных сточных вод, относящихся к приоритетным
областям их применения

Вариант № _____

Задание 1. Цель очистки:

Наилучшие доступные технологии, относящиеся к приоритетным областям применения НДТ: ...

Задание 2. Цель очистки:

Наилучшие доступные технологии, относящиеся к приоритетным областям применения НДТ: ...

Задание 3. Цель очистки:

Наилучшие доступные технологии, относящиеся к приоритетным областям применения НДТ: ...

Критерии оценки

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если правильно оформлены отчетные таблицы.

Оценка «не зачтено» – если неправильно оформлены отчетные таблицы.

ВОПРОСЫ ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ

1. На какие группы делятся аппараты, предназначенные для очистки промышленных выбросов от пыли?
2. Объясните принцип работы циклонов.
3. Какие аппараты применяются для очистки технологических газов от кислот, щелочей, масел и других жидкостей?
4. На каком принципе работают пылеосадительные камеры?
5. В чем состоит принцип работы электрофильтра?
6. Расскажите об устройстве двухступенчатого каталитического нейтрализатора.
7. Какие аппараты относятся к сухим пылеуловителям?
8. Какие аппараты осуществляют мокрую очистку промышленных выбросов?
9. На чем основан принцип работы скрубберов мокрого типа?
10. Какие методы применяют для очистки промышленных выбросов от газо- и парообразных примесей?
11. Абсорбционный метод очистки газов.
12. Назовите основные адсорбенты.
13. Какие реакции происходят на окислительном и восстановительном катализаторах в двухступенчатом каталитическом нейтрализаторе?
14. В каких случаях применяют термическое обезвреживание промышленных выбросов?
15. Для обезвреживания каких выбросов применяют биологический метод?
16. На чем основаны биологические (биохимические) методы очистки выбросов?
17. Назовите основные принципы выбора метода и аппаратуры очистки газовых выбросов от твердых частиц и аэрозолей.
18. Какие аппараты применяются для грубой, а какие — для тонкой очистки промышленных выбросов от пыли?
19. Расскажите о методах очистки сточных вод от загрязнений.
20. Опишите общую схему очистки сточных вод.
21. Какое оборудование применяют при использовании методов механической очистки сточных вод?

22. Назовите оборудование, предназначенное для очистки сточных вод химическими методами.
23. Какое оборудование применяется при использовании физико-химических методов очистки сточных вод?
24. В каких случаях применяются термические методы очистки сточных вод?
25. На чем основаны биохимические методы очистки сточных вод?
26. Какое оборудование применяется при аэробном и анаэробном методах биохимической очистки сточных вод?
27. В каких случаях применяют горизонтальные и радиальные отстойники?
28. Каков принцип удаления взвешенных примесей из сточных вод с помощью гидроциклона?
29. В каком случае применяется окисление и восстановление для очистки сточных вод?
30. Какие реагенты применяются в качестве коагулянтов?
31. С какой целью применяется адсорбция в процессе очистки сточных вод?
32. Для очистки от каких загрязнителей применяют метод флотации?
33. Определение понятия процесса ректификации как метода очистки сточных вод.
34. Что такое активный ил?
35. Расскажите о принципе работы аэротенка.
36. Что происходит в результате анаэробного сбраживания при биологической очистке сточных вод?
37. В каком оборудовании происходит осветление сточных вод?
38. Назовите общие требования к эксплуатации установок очистки газа.
39. Какие сведения должна содержать инструкция по эксплуатации и обслуживанию установок очистки газа?
40. На чем основаны методы детоксикации и утилизации вредных веществ сточных вод с использованием электромагнитных полей?
41. В чем состоит суть метода радиационной очистки газовых выбросов и производственных сточных вод?
42. Какие новые методы очистки атмосферного воздуха и производственных сточных вод разрабатываются в настоящее время?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии «Оборудование для очистки воздушных выбросов и сточных вод» рассмотрены вопросы очистки воздушных выбросов от пылей, газопарообразных примесей и туманов, механической очистки сточных вод, физико-химической и биологической очистки, а также затронута тема очистки сточных вод приоритетных производственных комплексов.

Данное пособие дает возможность достаточно полно ознакомиться с вопросами очистки воздушных выбросов и сточных вод предприятий различных отраслей.

Знания, умения, навыки, приобретаемые в результате изучения данной дисциплины, являются основой для изучения таких профилирующих дисциплин, как «Промышленная экология», «Ноксокология», «Безопасность жизнедеятельности», для которых необходимы знания, умения, навыки, приобретаемые в результате изучения учебного курса «Оборудование для очистки воздушных выбросов и сточных вод».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ветошкин, А. Г. Основы инженерной защиты окружающей среды : учеб. пособие / А. Г. Ветошкин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва [и др.] : Инфра-Инженерия, 2019. — 457 с. — URL: znanium.com/catalog/document?id=346705 (дата обращения: 24.10.2022). — ISBN 978-5-9729-0347-4.
2. Ветошкин, А. Г. Инженерная защита окружающей среды от вредных выбросов : учеб. пособие / А. Г. Ветошкин. — [2-е изд., испр. и доп.]. — Москва [и др.] : Инфра-Инженерия, 2019. — 414 с. — URL: new.znanium.com/catalog/product/1053370 (дата обращения: 24.10.2022). — ISBN 978-5-9729-249-1.
3. Ветошкин, А. Г. Инженерная защита атмосферы от вредных выбросов : учеб. пособие / А. Г. Ветошкин. — [2-е изд., доп. и перераб.]. — Москва [и др.] : Инфра-Инженерия, 2019. — 314 с. — URL: znanium.com/catalog/document?id=346709 (дата обращения: 24.10.2022). — ISBN 978-5-9729-0248-4.
4. Ветошкин, А. Г. Инженерная защита гидросферы от сбросов сточных вод : учеб. пособие / А. Г. Ветошкин. — [2-е изд., испр. и доп.]. — Москва [и др.] : Инфра-Инженерия, 2019. — 294 с. — URL: znanium.com/catalog/document?id=346711 (дата обращения: 24.10.2022). — ISBN 978-5-9729-0277-4.
5. Клюшенкова, М. И. Защита окружающей среды от промышленных газовых выбросов : учеб. пособие / М. И. Клюшенкова, А. В. Луканин. — Москва : ИНФРА-М, 2017. — 141, [1] с. — (Высшее образование — Бакалавриат). — URL: znanium.com/catalog/document?id=126974 (дата обращения: 24.10.2022). — ISBN 978-5-16-011331-9.
6. Луканин, А. В. Инженерная экология : процессы и аппараты очистки газовоздушных выбросов : учеб. пособие / А. В. Луканин. — Москва : ИНФРА-М, 2017. — 521, [1] с. — (Высшее образование — Бакалавриат). — URL: znanium.com/catalog/document?id=107346 (дата обращения: 24.10.2022). — ISBN 978-5-16-012307-3.
7. Луканин, А. В. Процессы и аппараты биотехнологической очистки сточных вод : учеб. пособие / А. В. Луканин. — Москва : ИНФРА-М, 2019. — 242 с. — (Высшее образование — Бакалавриат). — URL: znanium.com/catalog/document?id=333492 (дата обращения: 24.10.2022). — ISBN 978-5-16-011332-6.

ГЛОССАРИЙ

Абсорбция – химический или физический процесс впитывания одного вещества другим. Поглощаемое вещество полностью пропитывает поглощающее. Возможно поглощение газа жидкостью, а также поглощение жидкости или газа твердым веществом. Абсорбция (в отличии от адсорбции) – процесс, захватывающий не только поверхность раздела фаз, но распространяющийся на весь объём сорбента. Примером процесса абсорбции является растворение газов в жидкости.

Адсорбция – явление накопления одного вещества на поверхности другого. В общем случае адсорбцией называют изменение концентрации вещества на границе раздела фаз.

Анаэробная биологическая очистка – анаэробный (в отсутствии кислорода) двухстадийный процесс биохимического превращения органических загрязнений сточных вод в метан и диоксид углерода, при котором под действием бактерий органические вещества сбраживаются до простых органических кислот, а затем эти кислоты служат источником питания метанообразующих бактерий.

Аэробная биологическая очистка – переработка органических остатков с участием кислорода, проводимая бактериями. Это процесс очищения стоков, идущий с образованием углекислого газа, воды и тепла, сопровождаемый ростом числа участвующих в нем микроорганизмов (активный ил).

Аэротенк для очистки сточных вод – сооружение для биологической очистки сточных вод с аэрацией воздухом.

Биореактор-смеситель – прибор, осуществляющий перемешивание культуральной среды в процессе микробиологического синтеза.

Биосорбер – комбинированное сооружение для доочистки городских и производственных сточных вод от синтетических поверхностно-активных веществ, нефтепродуктов, красителей и других трудноокисляемых органических загрязнений, а также от взвешенных веществ и соединений азота до предельно допустимой концентрации.

Геоконтейнер – геосинтетическая конструкция, способная предотвратить процесс ослабления грунта вследствие эрозии, вызванной водным течением, действием прибрежных волн, экзогенными процессами.

Гидролиз — химическая реакция взаимодействия вещества с водой, при которой происходит разложение этого вещества и воды с образованием новых соединений.

Гидроциклон — технологический аппарат, предназначенный для выделения из потока обрабатываемой жидкости частиц твердой фазы заданного размера и плотности.

Коагулирующие вещества — вещества, введение которых в жидкую среду, содержащую мелкие частицы какого-либо тела, вызывает коагуляцию, т. е. слипание этих частиц.

Коалесцентный фильтр — фильтр-маслоотделитель тонкой очистки, который удаляет твердые частицы размером от 0,1 до 5 мкм и снижает концентрацию масла до значения 0,01–0,1 мг/м³.

Маркерное вещество — наиболее значимый показатель, выбираемый по определенным критериям из группы веществ, внутри которой наблюдается тесная корреляционная взаимосвязь (особенностью маркерного вещества является то, что с его помощью можно оценить значения всех веществ, входящих в группу).

Сепарация в технике — различные процессы разделения смешанных объемов разнородных частиц, смесей, жидкостей различной плотности, эмульсий, твердых материалов, взвесей, твердых частиц или капель в газе.

Сорбция — процесс поглощения одного вещества (сорбтива) другим (сорбентом), независимо от механизма поглощения. В зависимости от механизма сорбции различают адсорбцию, абсорбцию, хемосорбцию и капиллярную конденсацию.

Ультрафильтрация воды — метод ее очистки, заключающийся в пропускании воды через мембрану под определенным давлением.

Фильтрация — процесс отделения твердых частиц от жидкостей или газов путем пропускания их через соответствующий фильтр.

Флокулянты — вещества, вызывающие в жидких дисперсных системах флокуляцию.

Флокуляция — образование рыхлых хлопьевидных агрегатов (флокул) из мелких частиц дисперсной фазы.

Флотация — извлечение из воды различных веществ с помощью мелких пузырьков воздуха, увлекающих эти вещества на поверхность воды, которые остаются там в виде пены.

Хемосорбция — поглощение одного вещества другим, сопровождающееся их химическим взаимодействием.

Эмульгированные нефтепродукты — нефтепродукты, находящиеся в водной толще в виде эмульсии.