Негосударственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Камский институт гуманитарных и инженерных технологий» Факультет «Инженерных технологий»

Кафедра ««Инженерная экология и техносферная безопасность»



		Утв	вержда	ю:
Ректор	НОУ Е	ВПО «	КИГИ	(T»
		B.A.]	Никул	ин
			201	4Γ.
Согласова	ано на за	аседаі	нии У1	МC
Протокол №	от «	>>	20	Γ.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС дисциплины «Процессы и аппараты защиты окружающей среды»

Для направления подготовки

241000.62 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

Профиль: «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов»

Квалификация (степень) выпускника: БАКАЛАВР Форма обучения очная

Ижевск 2014

Рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «Инженерная экология и техносферная безопасность» Протокол № ____ от «___»_____2014г. Зав. кафедрой_____ Самигуллина Г.З. Согласовано: Начальник УМУ ______ Русинова Н.Г. Рецензент: к.т.н., доцент кафедры «Инженерная экология» ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова» Юнусова Л.З. Составитель: старший преподаватель кафедры «Инженерная экология и техносферная безопасность» ______ Лебедева Т.Б. Учебно-методический комплекс по дисциплине «Процессы и аппараты защиты разработан в соответствии с требованиями федерального окружающей среды» государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования и основной образовательной программы ВПО по направлению подготовки 241000.62 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» Учебно-методический комплекс предназначен для преподавателей и студентов.

Лебедева Т.Б., 2014

© НОУ ВПО «Камский институт гуманитарных и инженерных технологий», 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Рабочая программа по дисциплине	4
1.Цель и задачи дисциплины	4
2. Место дисциплины в структуре основных образовательных программ (ОО	П)4
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисцип.	лины5
4. Объем дисциплины и виды учебной работы	6
5. Содержание дисциплины	7
5.1. Содержание разделов дисциплины	9
5.2. Разделы дисциплины и междисциплинарной связи с обеспечи	ваемыми
(последующими) дисциплинами	10
6. Лабораторный практикум	10
7. Практические занятия	11
8. Рекомендуемые образовательные технологии	11
9. Программа самостоятельной работы студента	12
10. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промеж	куточной
аттестации по итогам освоения дисциплины	14
11. Материально-техническое обеспечение дисциплины	33
12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	33
13 Методические указания по выполнению лабораторных работ	34
14. Методические указания по выполнению практических работ	45
15 Методические указания по выполнению курсовых работ	64
16. Курс лекций по дисциплине	94

Рабочая программа

1. Цели изадачи дисциплины

Современная научно-техническая революция характеризуется бурным развитием промышленного и сельскохозяйственного потенциала, производства электроэнергии, расширением сферы использования транспорта всех видов, мелиорации больших земельных площадей, созданию систем искусственного климата. Эти процессы, а также сопровождающая их урбанизация обусловливают возрастающее загрязнение внешней среды. Загрязнение атмосферы, водоемов и почвы твердыми, жидкими и газообразными отходами достигает угрожающих размеров, происходит истощение невозобновляемых природных ресурсов, в первую очередь, полезных ископаемых и пресной воды. Решение преследует цель — не только сохранить природные ресурсы для дальнейшего экономического и социального развития страны, но прежде всего обеспечить благоприятные санитарные условия жизни населения и предупредить возможное вредное влияние загрязнений внешней среды на здоровье людей. Поэтому охрана природы, защита ее от загрязнений стала одной из важнейших глобальных проблем.

Таким образом, основная задача курса сводится к рассматриванию способов предотвращения производственных и городских поступлений в биосферу наиболее распространенных и масштабных загрязнений. Охарактеризованы эффективные технологические процессы и основная аппаратура, предназначенные для очистки от гетеро- и гомологических примесей различной природы газовых выбросов и сточных вод, а также утилизации основных видов твердофазных отходов различных отраслей промышленности и городского хозяйства.

2. Место дисциплины в структуре основных образовательных программ (ООП)

Дисциплина «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» представляет собой дисциплину вариативной части математического и естественнонаучного цикла профессиональных дисциплин (Б2) и относиться к направлению 241000.62 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии». Дисциплина базируется на курсах цикла естественнонаучных дисциплин (Б2.3), входящих в модули Общая неорганическая химия и Органическая химия, Физико-химические

методы анализа, Экология, Инженерная графика, БЖД, Электротехника и промышленная электроника, читаемых в 1-4 семестрах.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В процессе освоения дисциплины «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» студент формирует и демонстрирует следующие общепрофессиональные компетенции при освоении ООП ВПО, реализующей ФГОС ВПО:

Владение основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий оварий, катастроф,стихийных бедствий (ПК-6)

Способностью следить за выполнением правил техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и норм охраны труда на предприятиях химического, нефтехимического и биотехнологического прфиля (ПК-12)

Способностью применять современные методы исследования технологических процессов и природных сред, использовать компьтерные средства в научно-исследовательской работе (ПК-20)

Способностью участвовать в проектировании отдельных стадий технологических процессов с использованием современных информационных технологий (ПК-23)

4.Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетные единицы/ 180 часов.

Вид учебной работы		Всего	Сем	естр
		часов/ зачетных	5	6
	единиц			
Аудиторные занятия (всего)	105/3.0	51/1.5	54/1.5	
В том числе:		-	-	
Лекции (Л)		36/1	17/0.5	18/0.5
Практические занятия (ПЗ)		55/1.5	27/0.75	28/0.75
Лабораторные работы (ЛР)	15/0.4	7/0.2	8/0.2	
Самостоятельная работа (всего)	37/1.0	18/0.5	19/0.5	
В том числе:		-	-	-
Курсовой проект (работа)		38/1	2/0.05	36/1
Расчетно-графические работы		-	-	-
Реферат		-	-	-
Контрольная работа		-	-	-
Другие виды самостоятельной работы				-
Вид промежуточной аттестации (зачет)		36/1	-	36/1
Общая трудоемкость	час	180		
	Зач. ед.	5		

5. Содержание дисциплины Модуль 1. Процессы защиты атмосферного воздуха

1.1. Методы очистки и обезвреживания отходящих газов.

Основные источники загрязнения атмосферы. Источники производственных загрязнений воздушного пространства (промышленные выбросы). Классификация методов и аппаратов для очистки и обезвреживания газовых выбросов в атмосферу (методы очистки и обезвреживания отходящих газов).

1.2 Очистка отходящих газов от аэрозолей

Очистка отходящих газов от аэрозолей. Основные свойства пылей. Определение эффективности работы газоочистительного аппарата.. Фракционная эффективность очистки газов. Очистка газов: в сухих механических пылеуловителях; в фильтрах; в мокрых пылеуловителях; в электрофильтрах. Улавливание туманов. Рекуперация пылей. Очистка отходящих газов: пылеосадительная камера (тип-полка)*; вихревые и динамические пылеуловители;* основные конструкции (виды) циклов (по поводу газов): спиральный,* тангенциальный;* волокнистые и зернистые фильтры;* газопромыватели с подвижной насадкой – скрубберы (КСШ).*

1.3 Теоретические основы абсорбции

Абсорбционные методы очистки отходящих газов. Методы, лежащие в основе технологий очистки газов от оксида серы – SO_2 . технологическая схема процесса очистки отходящих газов от диоксида серы суспензией золы.* Очистка газов от оксидов азота; от галогенов и их соединений. Очистка газов от фторсодержащих соединений:* 1) раствором аммонийных солей;* 2) в горизонтальном абсорбенте,* очистка газов оксида углерода.

1.4 Теоретические основы адсорбции

Адсорбционные и хемосорбционные методы очистки отходящих газов. Теоретические основы адсорбции. Десорбция поглощенных примесей. Адсорбция паров летучих растворителей. Адсорбционная очистка газов: от оксидов азота; от диоксида серы, от паров ртути.

1.5 Основы каталитических процессов газоочистки

Методы каталитической и термической очистки отходящих паров. Теоретические основы каталитических процессов газоочистки. Твердофазная каталитическая очистка газов от оксидов азота. Каталитическая очистка газов от диоксида серы; от органических веществ; оксида углерода. Высокотемпературное обезвреживание газов

.

Модуль 2. Процессы защиты гидросферы

2.1 Использование воды в оборотных системах водоснабжения

Очистка сточных вод. Классификация загрязнений водной среды. Свойства и классификация вод. Использование воды в оборотных системах водоснабжения. Технологическая вода и сточные воды. Замкнутые системы водного хозяйства промышленного предприятия

.

2.2 Удаление взвешенных частиц из сточных вод

Классификация основных методов обезвреживания сточных вод в промышленности. Эффективность их обезвреживания.

2.3 Физико-химические методы очистки сточных вод

Методы очистки сточных вод: от нефтепродуктов; азот- и фосфорсодержащих соединений, ПАВ, тяжелых металлов, радионуклидов и др. полютантов.

Модуль 3. Процессы защиты литосферы

3.1 Переработка твёрдых отходов

Процессы защиты литосферы (переработка твёрдых отходов).* Источники и классификация твердых отходов. Технологии переработки твердых промышленных и бытовых отходов.

5.1.Содержание разделов дисциплины

Модульна	я разбивка	курса				
Образовательная программа: дисциплина ба	азовой час	ги професс	сиональ	ного ци	кла OOI	Ī
Дисциплина: Процессы и аппараты защиты	окружаюц	1	ы учебн	ο й 2 050	ATEL I	Кол-
		Бидь	KOJI-			
	Всего	П	(час./		CDC	ВО
Наименование модулей	час./	Л. час/	ПЗ час/	ЛЗ час/З	СРС час/3	балл
	ед.	3E	3E	Е	Е	ов за моду
						ль
Модуль 1. Процессы защи	гы атмосф	ерного воз	духа			30
Тема 1.1. Методы очистки и обезвреживания отходящих газов.	22/0.6	5/0.14	14/0. 39	3/0.0	-	10
Тема 1.2 Очистка отходящих газов от аэрозолей	20/0,6	3/0.08	13/0. 36	4/0.1	-	5
Тема 1.3 Теоретические основы абсорбции	3/0,08	3/0.08	-	-	-	5
Тема 1.4 Теоретические основы адсорбции	3/0,08	3/0.08	-	-	-	5
Тема 1.5 Основы каталитических процессов газоочистки	3/0,08	3/0.08	-	-	-	5
Модуль 2. Процессы з	защиты ги,	дросферы			-	20
Тема 2.1. Использование воды в оборотных системах водоснабжения	23/0,6	4/0.1	-	-	19/0.5	10
Тема 2.2 Удаление взвешенных частиц из сточных вод.	40/1,1	4/0.1	14/0. 39	4/0. 1	18/0,5	5
Тема 2.3 Физико-химические методы очистки сточных вод	22/0.6	4/0.1	14/0. 39	4/0. 1	-	5
Модуль 3. Процесси	ы защиты	литосферы	Ţ.			10
Тема 3.1 Переработка твёрдых отходов	6/0,17	6/0.17	-	-	-	10
Экзамен (курсовая работа)	38/1	-	-	-	-	40
ИТОГО:	180/5	35/0,97	55/1, 53	15/0 ,4	37/1	100

5.2.Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

No	Наименование	№ тем д	№ тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых								
п/п	обеспечиваемых		(1	оследующих) дист	циплин						
	(последующих)	1.1	1.3	1.4	2.1	3.1					
	дисциплин										
1.	Промышленная экология	+	+	+	+	+					
2.	Электротехника и										
	промышленная	+	+	+	+	+					
	электроника										
3.	Системы управления										
	химико-	+	+	+	+	+					
	технологическими										
	процессами										

6. Лабораторный практикум

№ моду ля	Название темы Дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудо- емкость (час.)/ЗЕ
1	Тема 1.1. Методы очистки и обезвреживания отходящих газов	Фильм «Чем мы дышим?» Измерение осаждения загрязнений из воздуха	3/0.08
1	Тема 1.2 Очистка отходящих газов от аэрозолей	Определение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.	4/0.1
2	Тема 2.2 Удаление взвешенных частиц из сточных вод.	Оценка загрязнения окружающей среды по степеням загрязнения снежного покрова	4/0.1
2	Тема 2.3 Физико-химические методы очистки сточных вод	Тест-комплект «Активный хлор» для определения в воде остаточного хлора	4/0.1

7. Практические занятия

№ моду ля	Название темы Дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудо- емкость (час.)/ЗЕ
1	Тема 1.1. Методы очистки и обезвреживания отходящих газов	Оценка воздействия вредных веществ, содержащихся в воздухе.	14/0,39
1	Тема 1.2 Очистка отходящих газов от аэрозолей	Определение ущерба, наносимого отдельным предприятием, здравоохранению.	13/0,36
2	Тема 2.2 Удаление взвешенных частиц из сточных вод.	Определение антропогенных загрязнений окружающей среде.	14/0,39
2	Тема 2.3 Физико-химические методы очистки сточных вод	Порядок нормирования загрязняющих веществ в неорганизованном сбросе с водозаборного бассейна промышленной площадки	14/0,39

8. Рекомендуемые образовательные технологии

Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях.

Семестр	Вид занятия (Л, ПЗ, ЛЗ)	Используемые интерактивные образовательные технологии	Количество часов/ЗЕ
2	Л	Работа в малых группах	1/0.028
	ПЗ	Работа в группах	1/0.028
Итого час./ЗЕ			2/0.056

9. Программа самостоятельной работы студента: Структура СРС

Код формир-ей компет-ции	Тема	Вид	Форма отчетности	Объем учебной работы (часов)	Учебно- методические материалы						
Модуль 2											
ПК-6, 12,20,23	Технологическая вода и сточные воды	Изучение теорет-го материала	СРС без участия преп-ля	6	См. список литературы						
ПК-6, 12,20,23	Оценка систем водного хозяйства	Изучение теорет-го материала	СРС без участия преп-ля	6	См. список литературы						
ПК-6, 12,20,23	Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий	Изучение теорет-го материала	СРС без участия преп-ля	7	См. список литературы						
ПК-6, 12,20,23	Удаление взвешенных частиц из сточных вод	Изучение теорет-го материала	СРС без участия преп-ля	6	См. список литературы						
ПК-6, 12,20,23	Удаление всплывающих примесей	Изучение теорет-го материала	СРС без участия преп	6	См. список литературы						
ПК-6, 12,20,23	Методики расчета аппаратов очистки сточных вод	Изучение теорет-го материала	СРС без участия преп-ля	6	См. список литературы						
Итого:		•		-	37						

График СРС

недели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

форма отчетности															
Письменная	ВК*	-	-	1	-	-	Кр1	PK1*	-	1	1	Кр2	РК2*	1	коз

^{*}ВК- входной контроль

*КОЗ – контроль остаточных знаний, проводится после окончания изучения дисциплины через 1-2 семестра, согласно утвержденного графика

Учебная карта самостоятельной работы студента______ курса _____гр. _____очной формы обучения Учебная дисциплина БЖД

Раздел	Вид самостоятельной работы	Плановые сроки выполнения	Форма отчетности	Фактические сроки выполнения	Сумма баллов
1	Общие				
	1.1. СРС без участия преподавателя	7 неделя	контрольная работа		30

12 неделя

контрольная

работа

30

40

		Итого:				100
По	дпись пре	еподавателя:				
По	дпись сту	дента:			дат	a
Су	мма балло	ов по СРС, включаемая в ито	оговую оценку по	о дисциплине	•	
П	дпись пре	еподавателя:			дат	a

Преподаватель

1.2. СРС под руководством

преподавателя

Экзамен

10. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Тесты

^{*}РК- рубежный контроль

3.6	
Модуль	
TATOTALATIO	

- 1.1 Методы очистки и обезвреживания отходящих газов.
- 1. Количество азота входящего в природный химический состав атмосферного воздуха (в пересчете на сухой воздух), % (об.):
 - 1) 20
 - 2) 56
 - 3) *78
 - 4) 0,934
- 2. Основные источники естественного загрязнения воздуха
 - 1) атомных взрывов
 - 2)* лесных пожаров
 - 3) сжигание отходов
 - 4) обработка растений пестицидами
- 3. Доля всех загрязнений автомобильным транспортом
 - 1) 50
 - 2)*70
 - 3) 30
 - 4) 15
- 4. Все промышленные выбросы в атмосферу классифицируют по агрегатному состоянию
 - 1) жидкие
 - 2) твердые
 - 3) газообразные
 - 4)* все вышеперечисленные
- 5. Все промышленные выбросы в атмосферу классифицируют по температурному потенциалу
 - 1)* нагретые и холодные
 - 2) нагретые и смешанные
 - 3) холодные и смешанные
 - 4) смешанные
- 6. Основные источники искуственного загрязнения воздуха
 - 1) вулканизм
 - 2) лесных пожаров

- 3) перенос пыльцы растений
- 4) *обработка растений пестицидами
- 7. Сухие методы очистки аппаратов обезвреживания газовых выбросов
 - 1) барботажный (пенный) пылеуловитель
 - 2) скруббер Вентури
 - 3)* рукавной фильтр
 - 4) аэротенк
- 8. Мокрые методы очистки аппаратов обезвреживания газовых выбросов
 - 1) керамические фильтры
 - 2) флотатор
 - 3) *тарельчатый пылеуловитель
 - 4) жалюзийный пылеуловитель
- 9. Термические методы очистки аппаратов обезвреживания газовых выбросов
 - 1) конденсаторы
 - 2) реакторы
 - 3) электролизеры
 - 4) *горелки
- 10. По назначению источники производственных загрязнений воздушного пространства разделяют
 - 1) * технологические и вентиляционные
 - 2) непрерывного и периодического действия
 - 3) точечные и линейные
 - 4) залповые и мгновенные
- 11. По режиму работы источники производственных загрязнений воздушного пространства разделяют
 - 1) непрерывного и периодического действия
 - 2) залповые
 - 3) мгновенные
 - 4)* все вышеперечисленные
- 12. Метод конденсации является рентабельным лишь при содержании паров растворителя в подвергаемом очистке потоке
 - 1)* $\geq 100 \ \Gamma/M^3$
 - 2) $\geq 50 \text{ г/м}^3$

- 3) $\geq 20 \ \Gamma/M^3$
- 4) $\geq 10 \text{ г/м}^3$
- 13. По месту расположения источники производственных загрязнений воздушного пространства разделяют
 - 1) точечные
 - 2) линейные
 - 3)*затененные и незатененные
 - 4) все вышеперечисленные
- 14. Газовые выбросы классифицируют также по организации отвода и контроль
 - 1)* организованные и неорганизованные
 - 2) затененные и незатененные
 - 3) непрерывного и периодического действия
 - 4) технологические и вентиляционные
- 15. Для снижения загрязнения атмосферы от промышленных выбросов совершенствуют
 - 1) строят различные очистные сооружения.
 - 2) применяют пневмотранспорт
 - 3) осуществляют герметизацию технологического оборудования
 - 4) *все вышеперечисленные
- 1.2 Очистка отходящих газов от аэрозолей
- 1. По слипаемости пыли делятся
 - 1) *4 группы
 - 2) 5 групп
 - 3) 3 группы
 - 4) 2 группы

- 2. Частицы промышленной пыли имеют форму
 - 1) пластинки, иглы
 - 2) чешуйки, волокна
 - 3) шарики, палочки

- 4) *все вышеперечисленные
- 3. Пыли обладают хорошей сыпучестью с размером частиц
 - 1) меньше 10 мкм
 - 2) *более 10 мкм
 - 3) меньше 0,1 мкм
 - 4) более 0,1 мкм
- 4. Сильнослипающаяся пыль
 - 1) кварцевая пыль
 - 2) сланцевая зола
 - 3)* гипсовая и алебастровая
 - 4) торфяная зола
- 5. Слабослипающаяся пыль
 - 1)* сухая шлаковая пыль
 - 2) цементная пыль
 - 3) сухое молоко
 - 4) асбест
- 6. Неслипающаяся пыль
 - 1) сухая глина
 - 2)* магнезитовая сухая пыль
 - 3) колошниковая летучая зола
 - 4) двойной суперфосфат
- 7. Среднеслипающаяся пыль
 - 1) клинкер
 - 2) асбест
 - 3) шерсть
 - 4)* мука
- 8. Абразивность учитывают при расчетах аппаратуры
 - 1) облицовочных материалов
 - 2) выбор скорости газа
 - 3) толщины стенок аппаратуры

- 4) *все вышеперечисленные
- 9. Смачиваемость частиц водой оказывает влияние на
 - 1) эффективность циклонов
 - 2) эффективность жалюзийных пылеуловителей
 - 3)* эффективность пенных пылеуловителей
 - 4) все вышеперечисленные
- 10. Гидрофильные материалы
 - 1) битум
 - 2) * галогениды щелочных металлов
 - 3) парафин
 - 4) cepa
- 11. Гидрофобные материалы
 - 1)* графит
 - 2) тефлон
 - 3) кварц
 - 4) кальций
- 12. Гигроскопичность способствует их улавливанию в аппаратах
 - 1) сухого типа
 - 2) * мокрого типа
 - 3) электрического типа
 - 4) все вышеперечисленные
- 13. Электрическая заряженность частиц оказывает влияние
 - 1) эффективность улавливания в газоочистных аппаратах
 - 2) взрывоопасность
 - 3) адгезионные свойства частиц
 - 4)* все вышеперечисленные
- 14. При содержании кислорода пылевое облако не взрывается
 - 1)* менее 16%
 - 2) менее 26%
 - 3) менее 84%
 - 4) менее 50%

15. Минимальные взрывоопасные концентрации взвешенной в воздухе пыли 1)* $20~{\mbox{г/m}}^3$
2) 5 Γ/M^3
3) 10 г/m^3
4) $16 \Gamma/\text{M}^3$
16. Максимальные взрывоопасные концентрации взвешенной в воздухе пыли
1) 550 Γ/M^3
2) *750 Γ/M^3
3) 600 г/m^3
4) 650 г/m^3
17. Достоинства циклонных аппаратов
1) высокое гидравлическое сопротивление
2) улавливание частиц размером менее 5 мкм
3) использование липких загрязнений.
4)* улавливания абразивных материалов
18. Недостатки циклонных аппаратов
1) движущиеся части в аппарате
2) улавливание пыли в сухом виде
3) * высокое гидравлическое сопротивление
4) работа при высоких давлениях газов
19. Для очистки промышленных газов применяются фильтры
1) керамические
2) волокнистые
3) рукавные
4)* все вышеперечисленные
10. Промышленные фильтры
1)* регенерируются
2) не регенерируются
21. Промышленные фильтры применяются для очистки промышленных газо
концентрацией
1) свыше 60 г/м ³
2)* до 60 г/м³
3) свыше 600 г/м ³

- 4) все вышеперечисленные
- 22. Улавливание частиц в фильтрах тонкой очистки происходит
 - 1) за счет броуновской диффузии
 - 2) за счет эффекта касания
 - 3) субмикронных частиц
 - 4)* все вышеперечисленные
- 23. Недостатки зернистых фильтров
 - 1) большое гидравлическое сопротивление
 - 2) регенерация фильтров
 - 3) продувание воздухом в обратном направлении
 - 4)* все вышеперечисленные
- 1.3 и 1.4 Теоретические основы абсорбции и адсорбции
- 1. Достоинства известняковых и известковых методов
 - 1) очистки газа без предварительного охлаждения
 - 2) очистки газа без предварительного обеспыливания.
 - 3) доступность сорбента
 - 4)* все вышеперечисленные
- 2. В производстве гипса из шлама среда сточных вод после отстаивания и центрифугирования представляет собой
 - 1) нейтральную
 - 2)*сильно-кислую
 - 3) щелочную
 - 4) сильно-щелочную
- 3. В нерекуперационных установках шлам
 - 1)* захоранивают
 - 2) сжигают
 - 3) утилизируют
 - 4) перерабатывают

4 Недостатки известковых и известняковых методов

- 1) брызгоунос из абсорберов
- 2) эрозия оборудования
- 3) зарастание систем отложениями гипса
- 4)* все вышеперечисленные

5. Требования для проведения процессов абсорбции диоксида серы

- 1)* низкое гидравлическое сопротивления
- 2) низкая эффективность
- 3) низкая пропускная способность по газу
- 4) сложные конструкции

6. Для адсорбции газов и паров используют

- 1)* микропористые гранулированные активные угли
- 2) воду
- 3) кислоты
- 4) щелочи

7. Для процесса окисления окиси азота применяют наиболее активный окислитель

- 1)*раствор бихромата калия
- 2) раствор парманганата калия
- 3) перекись водорода
- 4) азотная кислота

8. Для абсорбции оксидов азота используют

- 1) активные угли
- 2)* растворы щелочей
- 3) силикагели
- 4) все вышеперечисленное

9. Технические характеристики силикагелей

- 1) низкая температура регенерации
- 2) достаточно высокая механическая прочность
- 3) не горючи
- 4)*все вышеперечисленное

- 10. Преимущества установок с движущимся плотным и псевдоожиженным слоем адсорбента
 - 1) достаточно низкие скорости обрабатываемых потоков
- 2)*отсутствие энергозатрат на периодическое нагревание и охлаждение одного и того же аппарата
 - 3) низкий коэффициент использования адсорбентов
 - 4) частичная автоматизация
- 11. Обработка сухих ртутьсодержащих газовых потоков немодифицированными активными углями часто осложнена
 - 1) присутствием в них $N0_2$
 - 2) присутствием в них N0
 - 3)* присутствием в них $S0_2$
 - 4) присутствием в них СО
- 12. Метод каталитической очистки отходящих газов от диоксида серы основан
 - 1)* на принципе окисления SO_2 в SO_3
 - 2) на принципе окисления N0 в $N0_2$
- 13. Катализаторы для деструктивной каталитической обработки приготовляют на основе
 - 1) палладия
 - 2) кобальта
 - 3) природного материала цеолита
 - 4)*все вышеперечисленные
- 14 Катализаторы на основе керамики характеризуются
 - 1) менее термостабильны
 - 2) низким гидравлическим сопротивлением
 - 3) меньшей насыпной плотностью
 - 4)*все вышеперечисленные
- 15. При гидрировании водяным паром используют катализаторы, содержащие в качестве главного компонента
 - 1) перекись водорода
 - 2) бихромат калия
 - 3)* оксид железа

4) парманганат калия

Модуль 2

ПРОЦЕССЫ ЗАЩИТЫ ГИДРОСФЕРЫ

- 2.1 Использование воды в оборотных системах водоснабжения
- 1 В промышленности воду используют как
 - 1) сырье и источник энергии
 - 2) экстрагент для транспортирования сырья и материалов
 - 3) хладоагент
 - 4)*все вышеперечисленные
- 2. Запасы пресных поверхностных и подземных вод
 - 1) моря
 - 2)* ледники
 - 3) океаны
 - 4) заливы океанов
- 3. Жесткость природных вод обусловливается
 - 1) солями кальция и магния
 - 2) нитратов кальция и магния.
 - 3) сульфатов
 - 4) *все вышеперечисленные
- 4. Некарбонатная жесткость природных вод обусловливается
 - 1) бикарбонат магния
 - 2) *нитратов кальция и магния.
 - 3) бикарбонат кальция
 - 4) *все вышеперечисленные
- 5. Вязкость воды с повышением температуры
 - 1)*уменьшается
 - 2) увеличивается
- 6. С увеличением солесодержания вязкость воды

- 1) понижается 2)* повышается
- 7. Электрические свойства воды
 - 1)* слабый проводник электрического тока
 - 2) сильный проводник электрического тока
- 8. Наличие растворенных солей в воде как влияет на электрическую проводимость?
 - 1) уменьшается
 - 2) *увеличивается
- 9. Показатель прозрачности воды используют для
 - 1) оценки и содержания в ней солей кальция и магния
 - 2)*оценки качества воды и содержания в ней примесей
 - 3) оценки и содержания в ней фторидов
 - 4) оценки и содержания в ней сульфатов
- 10. Мутность воды определяется
 - 1)* наличием примесей
 - 2) наличием сульфатов
 - 3) наличием фторидов
 - 4) наличием бикарбоната магния
- 11. Ультрафиолетовые лучи проходят через воду
 - 1) плохо
 - 2)* легко
- 12. Инфракрасные лучи проходят через воду
 - 1)* плохо
 - 2) легко
- 13. Под качеством воды следует понимать
 - 1) бактериологические показатели
 - 2) химические и физические показатели
 - 3) биологические показатели
 - 4) *все вышеперечисленные

14. Природная вода, подвергаемая антропогенному загрязнению, называется
 озерной * денатурированной ледниковой все вышеперечисленные
15. Вода, используемая в промышленности, по целевому назначению классифицируется
1) технологическую 2) энергетическую 3) охлаждающую 4)* все вышеперечисленные
2.2 Удаление взвешенных частиц из сточных вод
1. Конструкцию песколовки выбирают в зависимости
1) концентрации взвешенных веществ 2) от количества сточных вод 3) * все вышеперечисленные
2. Эффективность осаждения вертикальных отстойников ниже на сколько %, чем в горизонтальных?
1) 5% 2) 25% 3)*15% 4) 35%
3. Повысить эффективность отстаивания трубчатых и пластинчатых отстойников можно путем
 1)* уменьшив вязкость сточной воды нагревания 2) уменьшения скорости осаждения 3) уменьшив размеры частиц 4) все вышеперечисленные 4. Аэрированные жироловушки используют на предприятиях
 1)*цех первичной обработки шерсти 2) цеха термопластавтоматов 3) автомойки 4) предприятия деревообработки

- 5. Процесс отстаивания используют и для очистки производственных сточных вод от
 - 1) жиров
 - 2) масел
 - 3) смол
 - 4)* все вышеперечисленные
- 6. Горизонтальные отстойники рекомендуется применять при расходах сточных вод
 - 1) для 25 м³/сут.
 - 2) для 5 тыс. м³/сут.
 - 3)* свыше 15тыс. м³/сут.
 - 4) менее 15 тыс. ${\rm m}^3/{\rm сут}$.
- 7. Отличие безнапорных гидроциклонов от напорных
 - 1) большей производительностью
 - 2) очистки сточных вод от крупных примесей
 - 3) меньшим гидравлическим сопротивлением.
 - 4)* все вышеперечисленные
- 8. Удаление всплывающих примесей происходит
 - 1) *при помощи скребкового транспорта
 - 2) при помощи ленточного транспортера
 - 3) при помощи шнека
 - 4) все вышеперечисленные
- 9. Величина сил адгезии зависит от
 - 1) скорости потока и температуры жидкости
 - 2) свойств примесей
 - 3) крупности и формы зерен
 - 4)* все вышеперечисленные
- 10. Механизмы извлечения частиц из воды
 - 1) химическая адсорбция
 - 2) адгезия
 - 3) коагуляционное осаждение
 - 4)* все вышеперечисленные

11. Достоинства фильтров

- 1) большая металлоемкость
- 2)*большая скорость фильтрации
- 3) большая производственная площадь
- 4) все вышеперечисленные

12. Недостатки фильтров

- 1) измельчение и унос песка
- 2) истирание стенок трубопроводов
- 3) сложность эксплуатации
- 4)* все вышеперечисленные

13. Для улавливания жиров применяют

- 1) нефтеловушки.
- 2) каплеуловители
- 3)* жироловушки.
- 4) все вышеперечисленные

13. Величина сил адгезии зависит от

- 1) скорости потока и температуры жидкости
- 2) свойств примесей
- 3) крупности и формы зерен
- 4)* все вышеперечисленные

14. Производительность фильтра определяется

- 1)*скоростью фильтрования
- 2) расходом воды
- 3) давлением воды
- 4) величиной проскока

15. Выбор типа фильтра для очистки сточных вод зависит от

- 1) концентрации загрязнений и степени их дисперсности
- 2) количества фильтрующих вод
- 3) требуемой степени очистки
- 4)* все вышеперечисленные

- 2.3 Физико-химические методы очистки сточных вод
- 1. Флотацию применяют для очистки сточных вод
 - 1) деревообработка
 - 2) термопластавтоматы
 - 3) * ЦБП
 - 4) строительство
- 2. Минеральные сорбенты
 - 1) силикагель
 - 2) алю-могель
 - 3) глина
 - 4)* все вышеперечисленные
- 3. Флотацию применяют для удаления из сточных вод
 - 1) * ΠAB
 - 2) механических примесей
 - 3) взвешенных частиц
 - 4) все вышеперечисленные
- 4. В отличие от коагуляции при флокуляции агрегация происходит
 - 1) при взаимодействии молекул адсорбированного на частицах флокулянта
 - 2) при непосредственном контакте частиц
 - 3) в результате взаимодействия молекул адсорбции
 - 4)* все вышеперечисленные
- 5. Скорость осаждения сфлокулированных хлопьев при рН>9
 - 1) * уменьшается
 - 2) увеличивается

- 6. Озонированием можно очищать сточные воды
 - 1) пестициды
 - 2) цианиды
 - 3) соединения мышьяка
 - 4)* все вышеперечисленные

7. Окисление озоном позволяет одновременно обеспечи	ТЬ
-----------------------------------------------------	----

- 1) устранение органолептического показателя (запах)
- 2) обеззараживание
- 3) обесцвечивание
- 4)* все вышеперечисленные

8. Стоки с небольшой концентрацией мышьяка осаждают

- 1) раствором КОН
- 2)* гидроксидом кальция
- 3) раствором NaOH
- 4) все вышеперечисленные

9. Выбор метода нейтрализации зависит от

- 1) концентрации сточных вод
- 2) стоимости реагентов
- 3) режима их поступления
- 4)* все вышеперечисленные

10. Растворимость О₃ в воде зависит от

- 1) KOE
- 2)* pH
- 3) ПДВ
- 4) ПДУ

11. Процесс окисления -это...

- 1)фотохимическое возбуждение молекул под действием УФ- облучения
- 2) окисление O_3
- 3)* все вышеперечисленные

12. К химическим методам очистки сточных вод относят

- 1) восстановление
- 2) окисление
- 3) нейтрализацию
- 4)* все вышеперечисленные

1 2	П	U			
1 3	Ппактичес	ки неитп	апьными	считаются	$R \cap \Pi L$
1).	Tipukin icc	mi nemp	asibilibiliti	c minimore,	роды

- 1) при рН>8,5
- 2)* π pH = 6,5-8,5.
- 3) при рН ≤6,5
- 4) при pH = 5,5
- 14. Процесс окисления -это...
 - 1)фотохимическое возбуждение молекул под действием УФ-облучения
 - 2) окисление О₃
 - 3)* все вышеперечисленные
- 15. Какими свойствами обладает пиролюзит?
 - 1) сорбционными свойствами
 - 2) окислительной способностью
 - 3)* все вышеперечисленные

Вопросы к рубежному контролю №1

1. Каковь 2. Привед 3. Oxapai Основны

- 1. Сопоставьте щелочные методы очистки газов от оксидов азота и охарактеризуйте последствия загрязнения атмосферы этими веществами.
- 2. Охарактеризуйте метод одновременной очистки газов от диоксида серы- SO_2 и оксидов азота- NO_x .
- 3. Очистка газов от галогенов и их соединений.
- 4. Очистка газов от хлора и его соединений.
- 5. Очистка газов от брома и его соединений.
- 6. В чем состоит существо медно-аммиачной очистки от оксида углерода -СО?
- 7. Теоретическая основа адсорбции. Назовите основные типы промышленных адсорбентов.
- 8. Какие задачи газоочистки можно решать с использованием активных углей, силикагелей, алюмогелей, цеолитов, оинитов?
- 9. Десорбция поглощенных примесей.
- 10. Адсорбция паров ЛОС.
- 11. Адсорбционная очистка газов от оксидов азота.
- 12. Адсорбционная очистка газов от диоксидов серы.
- 13. Очистка газов от паров ртути.
- 14. Теоретические основы каталитических процессов газоочистки.
- 15. Назовите методы каталитической очистки газов от оксидов азота и охарактеризуйте их показатели.
- 16. На каких принципах основаны предложенные технологии каталитической очистки отходящих газов от диоксида серы?
- 17. Поясните, в каких случаях практикуют каталитическую очистку газовых выбросов от органических загрязнений?
- 18. Каталитическая очистка газов от оксида углерода.
- 19. Назовите условия, характеризующие рациональность практической реализации высокотемпературного обезвреживания газовых выбросов.
- 20. Приведите классификацию водной среды.
- 21. Объясните, как изменяется качество воды под влиянием хозяйственной деятельности людей?
- 22. Свойства и классификация вод.
- 23. Какие имеются схемы оборотного водоснабжения предприятий и какими показателями оцениваются эффективность использования в них воды?
- 24. Что такое сточные воды и какие имеются пути уменьшения их образования?
- 25. Что такое замкнутые системы водного хозяйства промышленного предприятия?
- 26. Какие методы чистки сточных вод используются в промышленности и какова их эффективность обезвреживания?
- 27. Каковы источники возникновения твердых отходов в материальном производстве?

11. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

1. Лекшионные занятия

Комплект электронных презентаций/слайдов; аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ ноутбук);

2. Лабораторные работы

Определение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Ручной насос – пробоотборник НП-3М или аспиратор сильфонный АМ-5М, индикаторные трубки (ТИ); Тест-комплект «Активный хлор» для определения в воде остаточного хлора (на кафедре)

3. Практические занятия

Презентационная техника (проектор, экран, компьютер/ноутбук)

12.Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

Основная:

- 1. Родионов А. И., Клушин В. Н., Систер В. Г. Технологические процессы экологической безопасности. Издательство «Н. Бочкаревой», Калуга, 2000, 792 с.
- 2. Носков А. С., Пай З. П. Технологические методы защиты атмосферы от вредных выбросов на предприятиях энергетики. Новосибирск, 1996 156с.
- 3. Глухов В. В., Лисичкина Т. В., Некрасова Т. П. «Экономические основы экологии». СПБ, «Специальная литература», 1997 304с.
- 4. Голубкина Н. А., Шалина М. А. Лабораторный практикум по экологии. М.: Форум ИНФРА, 2003. 56 с. (серия «Профессиональное образование»)
- 5. Экология производства. Научно-практический журнал №2, 2005 54с.
- 6. А.Н.Голицин. Промышленная экология и мониторинг загрязнения природной среды. Учебник/ -МОРФ-М.:Оникс, 2007-336с.
- 7. Б.С. Ксенофонтов. Очистка воды и почвы флотации. М. : Новые технологии. 2004.- 224с.: ил. МОРФ.
- 8. Очистка сточных вод. Пер. с англ. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э.- М.: Мир, 2004. 480 с., ил.
- 9. Б.Н.Рябчиков. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М.: Де Липринт, 2005. 226с. Уч.пос.
- 10.С.В. Яковлев, И.Г. Губий, И.И. Павленова, В.Н.Родин. Комплексное использование водных ресурсов. М.: Высшая школа, 2005. 384с. Уч.пос.
- 11. Обеззараживание ультрафиолетовым излучением воды, воздуха и поверхности. Технические материалы. Презентация НПО «ЛИТ» . Каталог объектов «ЛИТ».-НПО «ЛИТ», 2007CD.
- 12.* Ветошкин А.Г. Теоретические основы защиты окружающей среды: Учеб. пособ./ А.Г.Ветошкин. М.: ВШ, 2008. 397c. Доп. МО РФ.
- 13.Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты защиты окружающей среды: Учеб. пособ. А. Г. Ветошкин М.: ВШ, 2008. 638с. Доп. МО РФ.
- 14. Ларионов Н.М. Промышленная экология: учебник для бакалавров/ Н.М. Ларионов, А.С. Рябышенков. М.: Издательство Юрайт, 2013. 425с. Серия: Бакалавр. Базовый курс.

Дополнительная:

- 1. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. госкомгидромет., Л.: гидрометеоиздат, 1987. 92 с.
- 2. Сигал И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. Л.: Недра, 1988. 312 с.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

1. Электронно-библиотечная система IPR books

13. Методические указания по выполнению лабораторных работ

Лабораторная работа № 1

Измерение осаждения загрязнений из воздуха

Оборудование: лабораторные весы ВЛР-200, электрическая плитка, водяная баня или песочная баня, фарфоровая чашка.

Цель:

- 1. Собрать осаждающиеся из воздуха загрязнения;
- 2. Взвесить собранные за определенный период загрязнения и рассчитать их количество, осаждающиеся на 1 m^2 .

Выполнение работы.

- 1. Взять два широкогорлых сосуда емкостью 100-200 мл и тщательно их вымыть.
- 2. Налить в сосуды смесь дистиллированной воды и спирта в отношении 50:50 до высоты 1,5-2,5 см.
- 3. Один сосуд поставить у шоссе или другого источника загрязнения, другой в нескольких метрах от него.
- 4. Оставить сосуды на 4 недели. По мере испарения жидкости добавлять в них раствор. Если сосуды переполняются в результате выпадения осадков, закончить эксперимент.
- 5. По окончании сбора материала выпарить раствор в чистом взвешенном лабораторном стакане. Затем взвесить его снова и определить количество осадка.
 - 6. исходя из площадки отверстия сосуда рассчитать количество материала, осевшего на 1 м².

Оформление результатов исследования

Полученные результаты представьте в виде таблицы. Первый сосуд (1) был установлен в непосредственной близости от дороги в районе...

Второй (2) – примерно в десяти метрах от дороги.

Таблина

Оформление результатов

	Номер сосуда	Вес пустого сосуда, г	Вес сосуда с загрязнениями, г	Вес загрязнений, г
ſ	1			
ſ	2			

Расчет количества загрязнений, осаждающихся на 1 м².

- 1. Измерить радиус сосуда.
- 2. Рассчитать площадь круга по формуле: $S = \pi R^2$
- 3. Составить пропорцию и произвести расчет.
- 4. На основании исследования сделать вывод.

Литература

1. Голубкина Н. А., Шамина М. А. Лабораторный практикум по экологии. – М.: Форум: $ИH\Phi A$ – м, 2003.-56с.; ил.

Лабораторная работа № 2.

Определение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Введение.

Рабочее место – это место, где человек непосредственно трудится продолжительное время (более 4 часов).

Повседневная многочасовая деятельность на рабочем месте оказывает значительное влияние на организм человека. Условия работы влияют на производительность труда, настроение, а также на состояние различных систем органов.

Окружающий человека атмосферный воздух непрерывно подвергается загрязнению. Воздух производственных помещений загрязняется выбросами технологического оборудования или при проведении технологических процессов без локализации отходящих веществ.

В настоящее время известно около 7 млн. химических веществ и соединений, из которых 60 тыс. находят применение в деятельности человека. На международном рынке ежегодно появляется 500...1000 новых химических соединений и смесей.

Вредным называется вещество, которое при контакте с организмом человека может вызвать травмы заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемыми современными методами как в процессе контакте с ним, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Согласно ГОСТ 12.1.1005-88 общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны, содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать ПДК, используемых при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования, вентиляции, для контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих.

ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны — это концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работа в продолжении 8 ч. или другой длительности, но не превышающей 41 ч. в неделю, в течение всего рабочего станка не могут вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований.

Максимальная разовая ПДК м.р. установлена для рефлекторных ощущений человека (запах, свет) при кратковременном (20 мин.) воздействии. ПДК с.с (среднесменная) — это средняя концентрация, полученная путем непрерывного или прерывного отбора проб воздуха при суммарном времени не менее 75% продолжительности рабочей смены, или средневзвешенная концентрация в течение смены в зоне дыхания работающих на местах постоянного или временного их пребывания.

Таблица 1. ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-88 (извлечения).

		Преимущественное		
Наименование вещества	Величина ПДК, мг/см ³	агрегатное		
		состояние в	Класс опасности	
	MI / CM	условиях		
		производства		
Аммиак	20	П	4	
Ацетон	200	П	4	
Бензин	100	П	4	
Кислота уксусная+	5	П	4	

Примечание:

- 1. Значения ПДК приведены по состоянию на 01.01.88;
- 2. Условные обозначения: n пары и (или) газы; + требуется специальная защита кожи и глаз.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ разнонаправленного действия ПДК остаются такими же, как и при изолированном воздействии.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия (по заключению органов государственного санитарного надзора) сумма отклонений фактических концентраций каждого из них $(C_1, C_2, ...C_n)$ в воздухе к их ПДК $(\Pi Д K_1, \Pi Д K_2 ... \Pi Д K_n)$ не должна превышать единицы:

$$C_1/\Pi \coprod K_{1+}C_2/\Pi \coprod K_2 + ... + C_n/\Pi \coprod K_n \le 1.$$

Отбор проб должен проводится в зоне дыхания при характерных производственных условиях.

Для каждого производственного участка должны быть определены вещества, которые могут выделяться в воздух рабочей зоны.

Рабочая зона – пространство, ограниченное по высоте 2 м над уровнем пола или площади, на которых находятся места постоянного или непостоянного (временного) пребывания работающих.

Периодичность контроля устанавливается в зависимости от класса опасности вредного вещества: для 1 класса (чрезвычайноопасные) — не реже 1 раза в 10 дней; 2 класса (высокоопасные) не реже 1 раза в месяц; 3 класса (умеренноопасные) — не реже 1 раза в квартал.

В зависимости от конкретных условий производства периодичность контроля может быть изменена по согласованию с органами государственного санитарного надзора. При установленном соответствии содержания вредных веществ 3, 4 классов опасности не реже 1 раза в год.

Цель работы:

Определение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны, характеризующее санитарно – гигиеническое состоянии воздушной среды; методы и средства контроля; предупреждение профзаболеваний.

Задание 1.

Определение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Оборудование:

Ручной насос – пробоотборник НП-3M или аспиратор сильфонный AM-5M, индикаторные трубки (ТИ).

Ручной насос-пробоотборник НП-3М.

- 1. Описание и работа.
- 1.1. Назначение.

Ручной насос — пробоотборник НП-3М — малогабаритное устройство поршневого типа предназначен для отбора проб воздуха (дозированного объема газовой смеси (Γ C)) и их прокачивание через индикаторные трубки. Насос снабжен клапаном обратного хода и обеспечивает отбор — дозировку 50 или 100 см³ анализируемого воздуха за 1 ход поршня.

Насос применяется совместно с TИ, элементами индикаторными (ЭИ) и другими средствами контроля ΓC в эколого-аналитическом, санитарном контроле и при аварийных ситуациях.

1.2. Состав изделия.

Насос состоит из цилиндра, в котором размещается шток с поршнем. Роль обратного клапана на поршне выполняет сквозное отверстие, прикрытое манжеткой, надетой на шток и прижатой к поршню пружиной. На один из концов цилиндра наворачивается крышка с фиксатором, удерживающая шток в требуемом положении. К другому концу цилиндра с помощью переходной втулки крепится насадка. В переходной втулке помещен защитный патрон с сорбентом. На насадке сбоку находится заточенное отверстие для обламывания концов стеклянных трубок. Внутри насадки под смотровым окошком закреплена контрольная мембрана, прижатая возвратной пружиной к смотровому окошку. Смотровое окошко закреплено на насадке двумя винтами. Под уплотнительной втулкой закреплена сетка, защищающая детали и узлы насоса от абразивных частиц.

1.3. Устройство и работа насоса.

Работа насоса основана на создании разряжения в цилиндре при перемещении штока и заполнении цилиндра ГС, поступающей через средство контроля ГС, установленное в уплотнительную втулку на насадке. Насос приводят в рабочее состояние вытягиванием штока из исходного положения. При этом шток фиксируется на позициях «50» и «100», что соответствует просасыванию 50 и 100 см3 ГС. При создании разряжения в цилиндре срабатывает сигнальное устройство - контрольная мембрана прогибается и из смотрового окошка пропадает изображение черной точки. При уравнивании давления внутри цилиндра с атмосферным давлением, в смотровом окошке появляется изображение черной точки, что позволяет фиксировать окончание просасывания ГС через средство контроля ГС. Перед введением штока в цилиндр, его поворачивают вокруг оси на 90 градусов. При этом воздух из цилиндра выходит через обратный клапан. Агрессивные вещества, которые могут поступать в насос из воздуха через средство контроля ГС, адсорбируются наполнителем защитного патрона.

- 2. Использование насоса по назначению.
- 2.1. Устанавливают вскрытое средство контроля ГС в уплотнительную втулку насоса соответствующим концом. Концы стеклянной трубки можно вскрыть при помощи заточенного отверстия на насадке.
 - 2.2. При работе рекомендуется держать в руках смотровым окошком к себе.
- 2.3. Приводят насос в исходное положение. Для этого вводят шток в цилиндр до упора (метки на крышке и штоке развернуты на угол 90градусов). Совмещают метки на крышке и штоке.

Для просасывания 100см3 пробы через средства контроля ГС вытягивают шток до фиксации на позиции «100».

Приводят насос в исходное положение согласно п.2.3.

Для просасывания 50см3 пробы через средства контроля ГС вытягивают шток до фиксации на позиции»50».

Для просасывания необходимого объема пробы V, большего 100см3, выполняют операции 2.3., 2.4. н раз (н = /100), не вынимая средство контроля Γ С из уплотнительной втулки насоса.

Окончание просасывания пробы контролируют при помощи сигнального устройства до появления черной точки в смотровом окошке.

По окончании просасывания необходимого объема пробы извлекают средство контроля ГС из уплотнительной втулки насоса. Рекомендуется сделать 2-3 «холостых» просасывания воздуха (операции 2.3., 2.4.) для удаления агрессивной среды из внутреннего воздушного пространства насоса.

Индикаторные трубки. (ТИ).

1. Назначение и область определения.

- 1.1.Индикаторные трубки колористического, колориметрического (ТИ-п) и экспозиционного типов (ТИ-д) предназначены для измерения содержания вредных веществ при контроле:
 - -загрязнения воздуха рабочей зоны на уровне ПДК по ГОСТ 12.1.005;
 - -загрязнения воздушной среды при аварийных ситуациях при значительном превышении ПДК для воздуха рабочей зоны;
 - -промышленных выбросов топливо-потребляющих установок малой мощности, работающих на природном газе;
 - -промышленных выбросов химических производств;
 - содержания газов и паров в воздушной среде в статическом режиме;
 - -наличия вредных газов и паров в воздушной среде.
 - 1.2.ТИ могут быть применены для предварительной оценки (скрининга) качества воздуха и других газовых сред, связанной с защитой здоровья населения, и охраной окружающей среды.
 - 1.3. ТИ, кроме экспозиционных индикаторных трубок, работающих в статическом режиме, используются с применением устройств типа аспираторов сильфонных АМ-0059, АМ-5, УГ-2 и других способных отбирать пробу воздуха объемом 100мл с погрешностью _+5%, и используемых при количественном определении химического состава воздушных сред.

<u>Индикаторные трубки</u> – широко используемые средства количественного экспресс-контроля загрязненности воздуха, применяемые во всем мире.

ТИ позволяет выполнить анализ согласно требованиям ГОСТ 12.1.014 и другим нормативным документам.

Индивидуальные трубки применяются в комплекте с насосом – пробоотборником НП-3М.

2. Устройство и принцип действия.

Индикаторные трубки могут применяться как индивидуально, так и в комплексе с фильтрующими трубками. Индикаторные и фильтрующие трубки представляют собой герметично запаянные стеклянные трубки. Внутри индикаторных трубок находятся индикаторные массы, представляющие собой хемосорбент, изменяющий окраску при прохождении через него определяемого вещества.

Внутри фильтрующих трубок находятся наполнители, представляющие собой хемосорбент, полностью пропускающий определяемое вещество и улавливающее анализу вещества либо взаимодействующий с определяемым веществом с образованием летучего продукта, индицируемого порошком индикаторной трубки.

Использование фильтрующих трубок предусмотрено при определении массовой концентрации оксидов азота, диоксида серы, бензола, толуола, бензина, суммы углеводородов нефти, керосина, хлорводорода.

Принцип действия: экспресс-метод, основанный на изменении окраски индикаторного слоя при прокачивании через индикаторную трубку, анализируемого воздуха. Длина прореагировавшего слоя является функцией и мерой массовой концентрации определяемого компонента, а также объема пробы воздуха, отобранного на анализ. Индикаторные трубки являются средством одноразового применения.

3. Рабочие условия применения:

Температура окружающей среды, °С (25+/-10);

Относительная влажность окружающей среды, % (60+/-30);

Барометрическое давление, кПа от 90,6 до 104,0.

Габаритные размеры:

длина – от 100 до 210мм;

наружный диаметр от 3,7 до 8 мм;

масса 10шт. ТИ от 0,020 до 0,180 кг.

Срок годности ТИ – от 12 до 24 мес., в зависимости от типа.

Индикаторные трубки выдерживаются транспортирование любым транспортом.

4. Точностные характеристики при анализе.

По диапазонам измерений концентраций ТИ предназначены для контроля воздуха рабочей зоны и промышленных выбросов. Некоторые компоненты могут контролироваться на уровне их естественного содержания в атмосферном воздухе также, как диоксид углерода и озон.

Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения массовой концентрации компонента не превышают $\pm 25\%$.

Суммарная дополнительная погрешность от влияния сопутствующих неизмеряемых примесей не превышают $\pm 35 - 40\%$.

Порядок выполнения работы.

- 1. Ознакомиться с техникой безопасности при выполнении работы.
- 2. Ознакомиться с устройством ручного насоса пробоотборника НП-3М.
- 3. Получить у преподавателя индикаторные трубки, предназначенные для определения газов и паров.
- 4. Надрежьте стеклянный корпус ТИ с двух концов.
- 5. Вскройте ТИ по надрезам.
- 6. Подсоедините ТИ к насосу пробоотборнику (если необходимо, перед ТИ подсоедините аналогично подготовленную фильтрующую трубку).
- 7. Прокачайте через ТИ воздух в требуемом количестве (указано на этикетке).
- 8. Приложите ТИ к контрольной шкале и определите значения концентрации компонента по длине изменившего окраску индикаторного слоя.
- 9. Сравните полученные данные с ПДК, мг/см³.
- 10. Дать санитарную оценку воздушной среды на исследуемом рабочем месте и рекомендации по профилактике профзаболеваний и заболеваний.
- 11. Составить отчет по лабораторной работе. Содержания отчета: цель работы, краткая теоретическая часть, схема применения ТИ в работе, таблица результатов, составленная по форме:

№ п/п	Определяемое вещество	Фактическая концентрация, мг/см ³	ПДК, мг/см ³
1	Аммиак		
2	Ацетон		
3	Бензин		
4	Уксусная кислота		

- 1.1.1 Аспираторы сильфонные АМ-5М предназначены для просасывания (прокачивания) исследуемой газовой среды с целью измерения в комплекте с индикаторными трубками содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны, рудничном воздухе, в атмосфере населенных пунктов, в промышленных выбросах предприятий, в выхлопах автомобилей.
- 1.1.2 Изделие как аспиратор по общим техническим требованиям соответствует ГОСТ Р 51945 и по классификации относится к малорасходным одноканальным неавтоматическим ручным аспираторам.
- 1.1.3 Аспиратор как изделие ГСП по общим техническим требованиям (условиям) соответствует ГОСТ 12997 (группа В4, исполнение обыкновенное).
- 1.1.4 Аспиратор по устойчивости к климатическим воздействиям по ГОСТ 15150-69 соответствует исполнению УХЛ категории 4.2, но для работы при температуре окружающей среды от минус 10 до $50\,^{\circ}$ С.

Пример записи обозначения при заказе изделия «Аспиратор сильфонный АМ-5М ТУ 4215-002-00211145-03».

1.2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- 1.2.1 Количество каналов измерений 1
- 1.2.2 Объем просасываемого (прокачиваемого) воздуха (атмосфера, выбросы, выхлопы и др.) за один рабочий ход, см3 100 ± 5
- 1.2.3 Объем всасываемого воздуха за 1мин. при сжатом сильфоне и заглушенном отверстии для подключения индикаторной трубки, определяющий

герметичность аспиратора, см3, не более 2,5

- 1.2.4 Предел допускаемой приведенной погрешности, %,не более 5
- 1.2.5 Габаритные размеры, мм, не более:

длина 155 ±5

ширина 56±2

высота 90±5

- 1.2.6 Масса, кг, не более 0,38
- 1.2.7Средняя наработка на отказ, ходов, не менее 2600
- 1.2.8 Полный средний срок службы, не менее 6

1.4 УСТРОЙСТВО ИЗДЕЛИЯ И ПРИНЦИП РАБОТЫ

- 1.4.1 Аспиратор (рисунок 1) представляет собой сильфонный насос ручного действия, работающий на всасывание воздуха за счет раскрытия пружинами предварительного сильфона.
- 1.4.2 Резиновый сильфон 6 с пружинами 7 обеспечивают ход аспиратора, который ограничивается цепочками 8 и 13. цепочка 13 присоединяется к винту 14 и втулке 16, с помощью которых производится настройка аспиратора на объем всасываемого воздуха за 1 рабочий ход, равный (100±5)см3.

Цепочка 8 соединена с рычагом 9, конец которого при натяжении цепочки приподнимает клапан 11 и прекращает при этом просасывание анализируемого воздуха через индикаторную трубку. При сжатии сильфона до упора через клапан 11 выталкивается воздух из камеры сильфона. Дно сильфона 10, к которому крепятся цепочки 8 и 13, съемное и снимается при необходимости замены клапана или введения рычага 9 под клапан. Трубка 2 является гнездом для подключения индикаторной трубки к аспиратору при выполнении измерений, подвеска 5 с отверстиями служит для отламывания запаянных концов индикаторной трубки при ее вскрытии перед определением содержания вредных веществ в газовых средах.

2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПО НАЗНАЧЕНИЮ 2.1 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

- 2.1.1 Работа с аспиратором не требует применения специальных мер безопасности.
- 2.1.2 К эксплуатации аспираторов, а также газоанализаторов (газоопределителей) конкретных типов, используемых с аспираторами, допускаются лица, ознакомленные с данным руководством и владеющие методикой и техникой индикаторного метода контроля вредных веществ в газовых средах.
- 2.1.3 При работе с аспиратором с использованием газоопределителей и газоанализаторов конкретных типов дополнительно должный быть обеспечены требования безопасности, изложенные в эксплуатационной документации на эти средства измерений содержания вредных веществ в газовых средах.

2.2 ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

2.2.1 Внешний осмотр.

При внешнем осмотре должно быть установлено:

- соответствие комплектности аспираторов комплекту поставки;
- наличие свидетельства (или отметки) о проверке;
- отсутствие повреждений и дефектов, препятствующих применению аспиратора;
- четкость обозначений маркировки.
- 2.2.2 Проверить время раскрытия аспиратора без трубки. Для этого сжать сильфон аспиратора и отпустить. Если аспиратор раскрывается медленно (более 2 с), необходимо прочистить фильтр и всасывающее отверстие.
- 2.2.3 Проверка герметичности аспиратора визуально производится следующим образом. Сжать сильфон до упора и заглушить отверстие для подключения индикаторной трубки. Аспиратор считается герметичным, если по истечении 1 минуты высота сжатого сильфона не изменилась.
- 2.2.4 Ежемесячно проверяют состояние фильтра аспиратора. Если он забит прочистить, промыть водой, высушить или при необходимости заменить новым.
- 2.2.5 На подготовленный к работе аспиратор надеть кольцо фиксирующее во избежание деформации пружин и клапана.

2.3 ПОРЯДОК РАБОТЫ

2.3.1 Работу по экспресс - определению содержания вредных веществ в газовых средах следует выполнять согласно эксплуатационной документации на газоопределители (газоанализаторы) конкретных типов, а также использовать рекомендацию по метрологии МИ 2606. «ГСИ. Концентрация вредных веществ в воздухе, в атмосфере и в выбросах в атмосферу. Методика выполнения измерений с использованием газоопределителей химических и трубок индикаторных ГХ-Е».

МИ 2606 поставляется по индивидуальным запросам потребителей.

При изучении и эксплуатации изделия также рекомендуется использовать: ГОСТ Р 51945, ГОСТ 12997, ГОСТ 12.1.014.

- 2.3.2 Аспиратор вынуть из футляра, снять кольцо фиксирующее и сделать 2-3 холостых хода сильфона аспиратора для продувки клапана.
- аккуратно отломить оба конца индикаторной трубки с помощью отверстия в подвеске аспиратора так, чтобы не нарушить положения фильтр-прокладок и слоя порошка индикаторной массы;
 - вставить индикаторную трубку в гнездо аспиратора стрелкой к последнему;
- быстро сжать одной или двумя руками сильфон аспиратора до упора и отпустить его до полного натяжения цепочек и резкого смещения рычага, открывающего клапан4
- при сжатии сильфона свободно удерживать аспиратор за крышку большим и указательным пальцем;
- прокачать через индикаторную трубку определенный объем воздуха, указанный в паспорте на конкретный тип газоопределителя (газоанализатора);
 - отсоединить индикаторную трубку от аспиратора.

По окончании работы произвести 2-3 холостых хода сильфона аспиратора для удаления из сильфона содержащейся там газовой смеси.

На аспиратор обязательно надеть кольцо фиксирующее во избежание деформации пружины и клапан и уложить в футляр.

ВНИМАНИЕ! Хранить аспиратор без кольца фиксирующего категорически запрещено!

Литература

- 1. Руководство по эксплуатации аспиратор сильфонный АМ-5М
- 2. Руководство по эксплуатации ручной насос-пробоотборник марка МП-3М.
- 3. Паспорт трубки индикаторные.

Лабораторная работа № 3

Оценка загрязнения окружающей среды по степеням загрязнения снежного покрова

Оценка загрязнения окружающей среды по степеням загрязнения снежного покрова является широко используемым во всём мире приемом проведения мониторинга окружающей среды. Подобные исследования осуществляются во многих странах, в частности в Финляндии, и позволяет получать четкую картину экологической обстановки на значительных территориях в течении ряда лет. Такие исследования могут включать оценку степени запыленности воздуха, загрязнения тяжелыми металлами, нитратами, сульфатами, хлоридами, органическим веществами т.п. и представляют собой основу для осуществления рекреационных мер по восстановлению экологического благополучия природы, общества, человека. В связи с этим результаты обследования ближайшего квартала по степени загрязнения снежного покрова имеют важные практические значения и представляют студентам первое знакомство с такого ряда исследованиям в области экологии.

При выполнении данной работы решаются следующие задачи:

- 1. Установление количества механических примесей в снеге (запыленности местности).
- 2. Определения рН талого снега.
- 3. Оценка уровня окиси углерода в воздухе вблизи мест отбора проб снега.
- 4. Оценка содержания ионов хлора на обследуемой территории.
- 5. Составление схемы распределения загрязнения на территории и оценка по результатам исследования степени экологического риска.

Проведение работы:

- 1. Перед началом исследования составляют схему обследуемой территории с указанием выбранных мест отбора снега, основных зданий и сооружений и их назначений. Мест отбора проб снега должно быть не менее 10.
- 2. Ориентируясь на схеме, отбирают образцы снега в выбранных местах на площадках размером не менее 1м². количество снега должно составлять свыше 600-800г. В качестве емкостей для сбора снега удобно пользоваться пластиковыми бутылями на 1,5-2 л. Из-под питьевой воды, для чего у них отрезают ножницами верхнюю суживающуюся часть (снег в емкости должен быть утрамбован). Каждая емкость должна быть пронумерована в соответствии с номерами мест отбора проб снега, номер закреплен на емкости скотчем (для нумерации может быть использован также лейкопластырь).

Для таяния снега собранные образцы оставляют при комнатной температуре до следующего занятия. В день сбора образцов снега студенты готовят к следующему занятию складчатые фильтры, плоскодонные колбы и химические воронки. Каждый складчатый фильтр взвешивают на аналитических весах. Вес бумажного фильтра и номер записывают на краю фильтра карандашом. Параллельно нумеруют плоскодонные колбы в соответствии с номерами проб.

3. Во время отбора проб снега студенты определяют концентрацию окиси углерода,

№ пробы	Объем	Macca	пыли,	Содержание	Содержание
No unofit	талого	I		ЙОНОВ	C6 Deprenataniae
№ пробы	снега,	В	В	ионов хлора, мг/л хлора, мг/л	CO, $M\Gamma/M^3$
	МЛ	пробе	литре	хлора, мг/л	

используя ручной газоанализатор и индикаторные трубки СО.

4. <u>Определения запыленности территории.</u> После того как снег растаял, его фильтруют через предварительно взвешенный складчатый фильтр, перенося осадок количественно на фильтр, для чего используют профильтрованный раствор талого снега. Измеряют объем талого снега каждой пробы. Бумажные фильтры помещают в сушильный шкаф, нагретый до $t=60-80\,^{\circ}\mathrm{C}$, или оставляют при комнатной t до следующего занятия. После высушивания фильтры взвешивают и определяют массу осадка. Поскольку объем талого снега во всех образцах разный, то, для того чтобы можно было провести сравнительную оценку запыленности территории, каждую величину пересчитывают на 1 л (кг) талого снега.

Количество пыли на кг снега = масса осадка * 1000 объем талого снега

- 5. <u>Определение рН талого снега.</u> В работе используют индикаторную бумагу (интервал рН 1-14) или рН-метр; рН талого снега можно определить во время фильтрования.
 - 6. <u>Качественное определение ионов хлора.</u> (ГОСТ 4251-72. Определение ионов хлора). Метод основан на осаждении хлорида серебра:

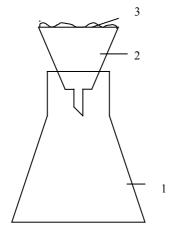
$$AgNO_3 + Cl^- = AgCl_{\downarrow} + NO_3^-$$

В пробирку наливают 5 мл пробы профильтрованного талого снега и добавляют 3 капли 10% раствора азотнокислого серебра. Примерное содержание хлор-иона определяют по внешнему виду осадка:

- Опалесцирующий (слабая муть) содержание Cl⁻ 1-10 мг/л;
- Сильная муть содержание СІ⁻ 10-50 мг/л;
- Хлопья, осаждающиеся не сразу, содержание Cl⁻ 50-100 мг/л;

- Белый объемный осадок – содержание Cl⁻ более 100 мг/л.

Рис. Прибор для фильтрования талого снега.



1 — плоскодонная колба; 2 — химическая воронка; 3 — бумажный фильтр

Оформление результатов исследования. Все результаты определений записывают в таблицу.

В выводах по проведенной работе должно быть отражено:

- 1. Определение наибольшего экологического риска в одной из точек исследования;
- 2. Объяснение, откуда появилось загрязнение в том или ином пункте отбора проб ионами хлора, запыленности территории.
 - 3. Выявление наиболее экологически благоприятных зон.

Лабораторная работа № 4

Тест-комплект «Активный хлор» для определения в воде остаточного хлора (на кафедре)

14 .Методические указания по выполнению практических работ

Практическая работа № 1

Оценка воздействия вредных веществ, содержащихся в воздухе

Общие сведения

Вредное вещество - вещество, которое при контакте с организмом человека в случае нарушения требований безопасности может вызывать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе контакта с ним, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Токсическими веществами (или ядами) называют химические компоненты, поступающие в количестве и качестве, не соответствующем врожденным или приобретенным свойствам организма, поэтому вызывающие вредные реакции, несовместимые с нормальной жизнедеятельностью организма.

Токсическое действие различных веществ результат взаимодействия организма, вредного вещества и окружающей среды. Оно зависит от количества попавшего в организм вещества, его физических свойств, токсичности, длительности поступления, химизма взаимодействия веществ. Кроме того, оно зависит от пола, возраста, индивидуальной чувствительности, путей поступления и выделения вредных веществ, распределения в организме, а также метеорологических условий и других сопутствующих факторов производственной и окружающей среды.

Ядовитые свойства могут проявить практически все вещества, даже такие, как поваренная соль в больших дозах или кислород при повышенном давлении, однако к ядам принято относить лишь те, которые свое вредное действие проявляют в обычных условиях и относительно небольших количествах. Промышленные яды могут быть причиной внешних повреждений тканей или общих профессиональных отравлений.

Отравления протекают в острой, подострой и хронической формах. Острые отравления чаще бывают групповыми и происходят в результате аварий, поломок оборудования и грубых нарушений безопасности труда и характеризуются кратковременностью действия вредных веществ не более чем в течение одной смены; поступлением в организм вредного вещества в относительно больших количествах - при высоких концентрациях в воздухе. Например, чрезвычайно быстрое отравление может наступить при высокой концентрации паров бензина, которое может закончиться гибелью от паралича дыхательного центра, если пострадавшего сразу же не вынести на свежий воздух.

Хронические отравления возникают постепенно, при длительном действии ядов, проникающих в организм в относительно небольших количествах. Они развиваются вследствие накопления массы вредного вещества в организме (материальная кумуляция) или вызываемых им изменений (функциональная кумуляция). Без функциональной кумуляции невозможно хроническое отравление. Нередко имеет место функциональная и материальная кумуляция одновременно. К ядам вызывающим хронические отравления в результате только функциональной кумуляции, относятся: хлорированные углеводороды, бензол, бензины и многие другие. Поражаемые органы и системы в организме при хроническом и остром отравлениях одним и тем же ядом могут отличаться. Например, при остром травлении бензолом в основном страдают нервная система и наблюдается наркотическое действие, при хроническом - система кроветворения.

Проявление хронических интоксикаций нередко носит скрытый характер при концентрациях ниже ПДК.

Наряду с острыми и хроническими отравлениями выделяют подострые формы, которые хотя и сходны по условиям возникновения и проявлением с острыми отравлениями, но развиваются медленнее и имеют более затяжное течение.

При повторном воздействии одного и того же яда в субтоксической дозе на организм может изменяться течение отравления и кроме явления кумуляции может наблюдаться сенсибилизация и привыкание.

Сенсибилизация - состояние организма, при котором повторное воздействие вещества вызывает больший эффект, чем предыдущие. Эффект сенсибилизации связан с образованием под влиянием токсического вещества в крови и других внутренних средах измененных и ставших чужеродными для организма белковых молекул, индуцирующих формирование антител. Повторное, даже значительно более слабое токсическое воздействие с последующей реакцией яда с антителами вызывает извращенный ответ организма в виде явлений сенсибилизации. При повторяющемся воздействии вредных веществ на организм можно наблюдать и обратное явление - ослабление эффектов вследствие привыкания.

Для развития привыкания к хроническому воздействию яда необходимо, чтобы его концентрация (доза) была достаточной для вызова ответной приспособительной реакции, но чтобы они не были чрезмерными, приводящими к быстрому и серьезному повреждению организма. Механизмы развития толерантности (терпимости) неоднозначны. При оценке влияния привыкания на токсичность вещества надо учитывать развитие повышенной устойчивости к одним веществам после повторного воздействия других. Существуют «адаптогены» (витамины, женьшень, элеутеракокк), способные уменьшить реакцию на стрессорные воздействия и в определенной мере увеличить устойчивость организма ко многим факторам окружающей среды, в том числе и химическим.

На производстве, как правило, в течение всего рабочего дня не бывают постоянные концентрации вещества. Они либо постепенно увеличиваются, снижаясь за обеденный перерыв, и вновь увеличиваясь к концу рабочего дня, либо резко колеблются, оказывая на человека интермиттирующее (прерывистое) действие, которое во многих случаях оказывается более вредным, чем непрерывное, так как частые и резкие колебания раздражителя ведут к более сильному воздействию его на организм.

Неблагоприятное воздействие интермиттирующего режима отмечено при вдыхании оксида углерода (СО). Несмотря на то, что содержание карбоксигемоглобина в артериальной крови при интермиттирующем действии было меньше, чем при непрерывном, колебания концентраций СО отягощают отравления им по сравнению с отравлениями при постоянной концентрации.

Несмотря на разнообразие вредных веществ, часто вызываемые им заболевания в своей основе имеют сходные патологические процессы. По характеру воздействия на организм человек они подразделяются на общетоксические - вызывающие отравление всего организма или поражающие отдельные системы организма (ЦНС, периферическую нервную и кроветворную системы), а также патологические изменения печени, почек (оксид углерода, цианистые соединения, свинец, ртуть, бензол и др.); раздражающие - вызывающие раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, глаз, легких, кожных покровов (хлор, аммиак, оксиды серы, азота, озон и др.); сенсибилизирующие -действующие как аллергены (формальдегид, растворители, лаки на основе нитро- и нитрозосоединений и др.); мутагенные - приводящие к нарушению генетического кода, изменению наследственной информации (свинец, марганец, радиоактивные изотопы и др.); канцерогенные -вызывающие, как правило, злокачественные новообразования (циклические амины, ароматические углеводороды, хром, никель, асбест и влияющие на репродуктивную (детородную) функцию (ртуть, свинец, радиоактивные изотопы). Три последние вида воздействия вредных веществ - мутагенное, канцерогенное, влияние на репродуктивную функцию, а также ускорение процесса старения сердечнососудистой системы - относят к отдаленным последствиям влияния химических соединений на организм человека. Специфика этого влияния -в проявлении не в период воздействия и не сразу по его окончании, а в отдаленные периоды, спустя годы и даже десятилетия. Отмечается появление различных эффектов и в последующих поколениях.

Необходимо отметить, что некоторые вещества, преимущественно аэрозоли, оказывающие на человека фиброгенное действие. Эти вещества, попадая в легкие, вызывают мельчайшие рубцевания легких (фиброз) за счет развития соединительных тканей, приводя к профессиональным заболеваниям - пневмокониозам. К этим веществам относятся аэрозоли металлов и их сплавов, пластмасс; аэрозоли растительного происхождения, а также пыли стеклянного и минерального волокна, кремнийсодержащие и другие.

В зависимости от природы пыли пневмокониозы могут быть различных видов: например, силикоз - наиболее частая и характерная форма, развивающаяся при действии свободного диоксида кремния; силикатоз, возникающий при вдыхании пыли солей кремниевой кислоты; асбестоз - одна из агрессивных форм селикотоза, которая приводит к фиброзу легких, к нарушениям нервной и сосудистой систем, а также к развитию рака легких. Различают и другие виды пневмокониозов. Кроме

этого вида воздействия пыль может проявлять и токсическое действие. К ядовитым пылям относят аэрозоли ДДТ, хромового ангидрида, свинца, бериллия, мышьяка и др. Аэрозоли этих веществ могут оказывать местное воздействие на верхние дыхательные пути, а также вызывать острые и хронические отравления, проникая в легкие и желудочно-кишечный тракт.

Вредные вещества проникают в организм человека главным образом через дыхательные пути, а также через кожный покров и пищеварительный тракт Большинство случаев (80, 90%) профессиональных заболеваний и отравлений связано с поступлением токсичных газов, паров, туманов, аэрозолей в организм человека главным образом через органы дыхания. Этот путь наиболее опасен, поскольку вредные вещества через разветвленную легочную ткань (100 - 120 м) поступают непосредственно в кровь и разносятся по всему организму.

Вредные вещества могут попадать в организм человека и через кожные покровы при наличии токсичных паров и газов в воздухе рабочей зоны, так как токсичные пары и пыли способны растворяться в поту и жировом покрове кожи; затем они всасываются через кожу и поступают в кровь. К таким веществам относятся легко растворимые в воде и жирах углеводороды, ароматические амины, бензол, анилин и т. п.

Комбинированное действие промышленных ядов. Изолированное действие вредных веществ на производстве встречается редко; обычно в условиях современного промышленного производства работающие подвергаются одновременному воздействию сложного комплекса неблагоприятных факторов.

Комбинированное действие вредных веществ - это одновременное или последовательное действие на организм нескольких ядов при одном и том же пути поступления. Различают несколько видов комбинированного действия ядов:

1. Аддитивное действие - суммарный эффект смеси равен сумме эффектов действующих компонентов. Это, как правило, характерно для веществ однонаправленного действия, когда компоненты смеси веществ действуют на одни и те же системы в организме. Для вещества однонаправленного действия характерно то, что при количественно одинаковой замене их друг другом токсичность смеси не меняется. Для гигиенической оценки воздушной среды при условии аддитивного действия ядов существует уравнение

$$C_1/\Pi \coprod K_1 + C_2/\Pi \coprod K_2 + \dots + C_{\Pi}/\Pi \coprod K_1 < 1,$$

- где C_1 , C_2 , C_n концентрация каждого вещества в воздухе; $\Pi \not \square K_1$ $\Pi \not \square K_2$, $\Pi \not \square K_n$ установленные предельно допустимые концентрации этих веществ. Примером аддитивного действия является наркотическое действие смеси углеводородов (бензол и изопропилбензол).
- 2. Потенцированное действие (синергизм) компоненты смеси действуют так, что одно вещество усиливает, потенцирует действие другого. Синергизм комбинированное действие смеси веществ, которые

по своему эффекту больше аддитивного. Потенцирование отмечается при совместном действии сернистого ангидрида и хлора, алкоголь повышает опасность отравлений анилином, ртутью и другими промышленными ядами. Явление потенцирования возможно только в случае острого действия.

- 3. Антагонистическое действие эффект комбинированного воздействия менее ожидаемого. Компоненты смеси действуют так, что одно вещество ослабляет действие другого. Эффект действия таких веществ менее аддитивного. Примером могут быть антидотное взаимодействие между эзерином и атропином.
- 4. Независимое действие комбинированный эффект не отличается от изолированного действия каждого яда. Преобладает эффект наиболее токсичного вещества. Комбинации веществ с независимым действием встречаются достаточно часто, например бензол и

раздражающие газы, смесь продуктов сгорания и пыли. Наряду с комбинированным действием ядов возможно и комплексное действие, когда яды поступают в организм одновременно, но разными путями.

Гигиеническое нормирование содержания вредных веществ. В связи с тем, что требование полного отсутствия промышленных ядов в зоне дыхания работающих часто является нереальным или трудно выполнимым, особую значимость приобретает гигиеническая регламентация содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Принципы гигиенического нормирования определяются самой формулировкой ПДК.

«Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов или при другой продолжительности, но не более 41 часа в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений».

Содержание вредных веществ в атмосферном воздухе нормируют по списку Минздрава № 3086-84, а для воздуха рабочей зоны производственных помещений - по ГОСТ 12.1..5.88.

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов нормируют по максимально разовой и среднесуточной концентрации примесей.

 $\Pi Д K_{max}$ - основная характеристика опасности вредного вещества, которая установлена для предупреждения возникновения рефлекторных реакций человека (ощущение запаха) при кратковременном воздействии (не более 30 мин.)

ПДКсс - установлена для предупреждения общетоксического, канцерогенного, мутагенного и другого влияния вредного вещества при воздействии более 30 мин.

Гигиеническая регламентация вредных веществ в настоящее время проводится в три этапа:

- 1. обоснование ориентировочного безопасного уровня воздействия (ОБУВ);
- 1. обоснование ПДК;
- 2. корректирование ПДК с учетом условий труда работающих и их состояния здоровья.

Установлению ПДК может предшествовать обоснование ОБУВ в воздухе рабочей зоны.

ОБУВ устанавливается временно, на период, предшествующий проектированию производств. Определяется ОБУВ путем расчета по физико-химическим свойствам или путем интерполяцией и экстраполяции в рядах близких по строению соединений, или по показателям острой опасности.

ОБУВ должны пересматриваться через 2 года после их утверждения или заменяться ПДК.

Порядок выполнения задания

Получив методические указания по практическому занятию, переписать форму табл. 1 на чистый лист бумаги

Исходные данные и нормируемые значения содержания вредных веществ

Вариант	Вещество	ещество Концентрация вредного вещества, мг/м						норма	ответст ім кажд вещесті	(ого из				
		Фактическая	В воздухе населенных пунктов Мамания Стана		населенных пунктов		населенных				Особенности воздействия	в воздухе рабочей зоны	В воздухе населенных пунктов при времени воздействия	
		ð	В воз духе р	Максимал ьно разовая < 30 мин	Средне суточ- ная >30 мин		Ocoбe		<30	>30 мин				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
1	Оксид углерода	5	20	5	3	4	0	<пдк (+)	=пдк 0	>пд к (-)				

Используя нормативно-техническую документацию (таблица 2), заполнить графы 4...8 таблицы 1.

Раукатра	В	В розлича изаа		Ä	CCLN
Вещество	воздухе	В воздухе насе пунктов	ленных	10CT	ННО
	рабочей зоны	Максимально разовая; воздействие < 30 мин	Средне- суточная; воздействие > 30 мин	Класс опасности	Особенности
Азота диоксид	2	0,085	0,04	2	0
Азота оксиды	5	0,6	0,06	3	0
Азотная кислота	2	0,4	0,15	2	-
Акролеин	0,2	0,03	0,03	3	-
Алюминия оксид	6	0,2	0,04	4	Φ
Аммиак	20	0,2	0,04	4	-
Ацетон	20	0,2	0,04	4	-
Аэрозоль ваннадия пентооксида	0,1	-	0,002	1	-
Бензол	5	1,5	0,1	2	К
Винилацетат	10	0,15	0,15	3	-
Вольфрам	6	-	0,1	3	ф
Вольфрамовый ангидрид	6	-	0,15	3	ф
Гексан	300	60	-	4	-
Дихлорэтан	10	3	1	2	-
Кремния оксид	1	0,15	0,06	3	ф
Ксилол	50	0,2	0,2	3	-
Метанол	5	1	0,5	3	-
Озон	0,1	0,16	0,03	1	0
Полипропилен	10	3	3	3	-
Ртуть	00,1-0,005	-	0,0003	1	-
Серная кислота	1	0,3	0,1	2	-
Сернистый ангидрид	10	0,5	0,05	3	-
Сода кальцинированная	2	-	-	3	-
Соляная кислота	5	-	-	2	-
Толуол	50	0,6	0,6	3	-
Углерода оксид	20	5	3	4	Ф
Фенол	0,3	0,01	0,003	2	_
Формальдегид	0,5	0,035	0,003	2	O.A
Хлор	1	0,1	0,03	2	0
Хрома оксид	1	-	-	3	A
Хрома триоксид	0,01	0,0015	0,0015	I	К.А
Цементная пыль	6	-	-	4	Ф
Этилендиамид	2	0,001	0,001	3	-
Этанол	1000	5	5	4	-

Примечание: О - вещества с остронаправленным действием, за содержанием которых в воздухе требуется автоматический контроль; А -вещества, способные вызвать аллергические

заболевания в производственных условиях; K - канцерогены, Φ - аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

Выбрав вариант задания (таблица 3), заполнить графы 1...3 таблицы 1.

Сопоставить заданные по варианту концентрации вещества с предельно допустимыми (табл.2) и сделать вывод о соответствии нормам содержания каждого из веществ в графах 9... 11 (табл. 1), т. е. $< \Pi Д K$, $= \Pi Д K$, или $> \Pi Д K$, обозначая соответствие нормам знаком "+", а несоответствие знаком "-".

Примечание. В настоящем задании рассматривается только независимое действие представленных в варианте вредных веществ.

Таблица 3

Варианты заданий	Ba	рианты	заланий
------------------	----	--------	---------

Вариант	Вещество	Фактическая концентрация	Вариант	Вещество	концентрацияФактическая	Вариант	Вещество	концентрацияФактическая
1	Фенол	0,00	2	Аммиак	0.01	3	Акролеин	0,01
	Азота			Ацетон	150		Дихлорэтан	4
	оксиды	1		Бензол	0,05		Хлор	0,02
	Углерода			Озон	0,00		Углерода	
	оксид	0,1		Дихлорэтан	1		оксид	10
	Вольфрам	10		Фенол	5		Сернистый	
	Полипропи				0,5		ангидрид	0,03
	лен	8					Хрома оксид	
	Ацетон	5						
		0,5						
4	Озон	0,01	5	Акролеин	0,01	6	Азота	
	Метиловый			Дихлорэтан	5		диоксид	0,04
	спирт	0,2		Озон	0,01		Аммиак	0,05
	Ксилол	0,5		Углерода			Хрома оксид	0,2
	Азота			оксид	15		Сернистый	
	диоксид	0,5		Формальдегид	0,02		ангидрид	0,5
	Формальдеги	0,01					Ртуть	0,00
		0.05		Вольфрам	4		Акролеин	
	Толуол	0,05		A	0.5			0,01
7	Этиловый	150	8	Аммиак	0,5	9	Азота	_
	Спирт Угнородо	130		Азота			диоксид Озон	5
	Углерода оксид	15		диоксид Вольфрамовый	1		Углерода	0,00
	Озон	0,01			_		1 -	,
	Серная	0,01		ангидрид Хрома оксид	5		оксид Дихлорэтан	1 1
1	ССрная			грома оксид	0,2		диклорэтан	10

	кислота	0,05		Озон	1		Сода	
	Соляная			Дихлорэтан	5		кальциниро	
	кислота Сернистый	5					ванная Ртуть	5
	ангидрид	0,5						
10	Ацетон	0,2	11	Азота		12	Азотная	
	Углерода			оксиды	0,1		кислота	0,5
	оксид	15		Алюминия			Толуол	0,6
	Кремния			оксид	5		Винилацетат	0,1
	диоксид	0,2		Фенол	0,00		Углерода	
	Фенол	0,003		Бензол	1		оксид	10
	Формальдеги	0,02		Формальдегид	0,05		Алюминия	
		0,0=					оксид	5
	Толуол	0,5		Винилацетат	0,01		Гексан	0,0
13	Азота	,	14	Акролеин	0,01	15	Углерода	
	диоксид	0,5	••	Дихлорэтан	5		оксид	10
	Ацетон	0,2		Хлор	0,01		Этилендиа	
	Бензол	0,05		Хрома			МИН	0,1
	Фенол	0,01		триоксид	0,1		Аммиак	0,1
	Углерода	0,01		Ксилол	0,3		Азота	91
	оксид	10		Ацетон	150		диоксид	5
	Винилацетат	0,1		ПЦСТОП	130		Ацетон	100
	Биницетат	0,1					Бензол	0,0
16	Серная		17	Аммиак	0,00	18	Ацетон	0,3
10	кислота	0,5	17	Азота	0,00	10	Фенол	0,0
	Азотная	0,0		диоксиды	1		Формальде	0,0
	кислота	0,5		Вольфрам	0,1		гид	5
	Вольфрам	0,3		Алюминия	U,1		Полипропилен	0,02
	Кремния	0,2		оксид	4			0,02
	диоксид	0,01		Углерода	4		Толуол	
	Фенол			-			<u> </u>	8
	1	0,2		ОКСИД	5		Винилацетат	0,0
	Ацетон	50		Фенол	0,01			0,1
10	Озон	0,01	20	177		21	Α	
19	Метанол	0,3	20	Углерода	10	21	Аэрозоль	
	Этанол	100		ОКСИД	10		ванадия	
	Цементная	6 00		Азота			пентаоксида	0,1
	пыль	200		диоксид	1,0		Хрома	
	Углерода			Формальдегид	0,02		триоксид	0,1
	оксид	15					Хлор	0,02
	Ртуть	05		Акролеин	0,01		Углерода	
	Ксилол	0,01		Дихлорэтан	5		оксид	10
				Озон	0,02		Азота	
							диоксид	1
							Озон	0,1
22	Сернистый		23	Азота		24	Аммиак	0,0

	ангидрид	0,5		оксиды	0,1		Азота	
	Серная			Алюминия			оксиды	0,1
	кислота	0,05		оксид	5		Углерода	
	Вольфрамов			Формальдегид	0,02		оксид	15
	ангидрид	5					Фенол	0,00
	Хрома оксид	0,2		Винилацетат	0,1		Вольфрам	5
	Азота			Бензол	0,05		Алюминия	4
	диоксид	0,05		Фенол	0,00		оксид	5
	Аммиак	0,5			5			
25	Азотная		26	Озон	0,05	27	Акролеин	0,01
	кислота	0,5		Фенол	0,02		Дихлорэтан	5
	Серная			Кремния			Озон	0,01
	кислота	0,5		диоксид	0,15		Углерода	
	Ацетон	100		Этилендиамин	0,9		оксид	20
	Кремния						Вольфрам	5
	диоксид	0,2		Аммиак	0,05		Формальдегид	0,02
	Фенол	0,01		Ацетон	0,15			
	Озон	0,01						
28	Аммиак	0,02	29	Озон	0,05	30	Аммиак	0,4
	Ртуть	0,00		Азота			Азота	
				диоксид	1		диоксид	0,5
	Азота			Углерода			Хрома оксид	0,18
	диоксид	5		оксид	15		Соляная	
	Хрома оксид	0,2		Хлор	0,02		кислота	4
	Ксилол	0,5		Хрома			Серная	
	Гексан	0,01		триоксид	0,09		кислота	0,04
				Аэрозоль			Сернистый	
				ванадия			ангидрид	0,4
				пентаоксида	0,05			

Таблица 4

Пример выполнения оценки воздействия вредных веществ, содержащихся в воздухе

Вариант	Вещество	ОГО	Класс ее опасности	твия	l	тветствие каждого						
Baţ		ес кая		вещества, мг/м В воздухе населенных пунктов максима корона корона вещества, мг/м В воздухе населенных пунктов максима суточн разовая			Особенности воздействия	в воздухе рабочей зоны	В возд населен пунктов времени воздейст	ухе ны при		
			03 ДУ.	максима льно	Средне суточная		000	зозду	<30 мин	>30 мин		
			B B	разовая	3					BB		
				< 30 мин	>30мин							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
	Азота диоксид	0,5	2	0,085	0,04	2	O	<ПДК +	>пдк -	>пдк-		
	Ацетон	0,2	200	0,35	0,35	4	-	<ПДК +	<пдк +	<пдк+		
	Бензол	0,05	5	1,5	0,1	2	К	<пдк+	<пдк+	<пдк+		
	Фенол	0,01	0,3	0,01	0,003	2	-	<пдк +	<щк+	>пд к-		
	Углерода оксид	10	20	5	3	4	Ф	<пдк+	>пд к-	>пд к-		
	Винил ацетат	0,1	10	0,15	0,15	3	-	<пд к +	<пдк+	<пдк+		

Вывод: ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны находится в норме. В воздухе населенных пунктов при времени воздействия менее или 30 минут ПДК диоксида азота, оксида углерода превышает норму, при воздействии свыше 30 минут также ПДК диоксида азота, оксида углерода и фенола. Следовательно, производство является вредным для людей, проживающих рядом. Необходимо принять соответствующие меры.

Практическая работа № 2

Методические указания по выполнению практической работы находятся на кафедре.

Практическая работа № 3

Определение антропогенных загрязнений окружающей среды

Введение

Автотранспорт является одним из основных загрязнителей атмосферы оксидами азота NO_X (смесью оксидов азота NO и NO_2) и угарным газом (оксидом углерода (П), CO), содержащихся в выхлопных газах. Доля транспортного загрязнения воздуха составляет более 60% по CO и более 50% по NO^* от общего загрязнения атмосферы этими газами. Повышенное содержание CO и NO_X можно обнаружить в выхлопных газах неотрегулированного двигателя, а также двигателя в режиме прогрева.

Выбросы вредных веществ от автотранспорта характеризуются количеством основных загрязнителей воздуха, попадающих в атмосферу из выхлопных (отработанных) газов, за определенный промежуток времени.

К выбрасываемым вредным веществам относятся угарный газ (концентрация в выхлопных газах 0,3-10% об.), углеводороды - несгоревшее топливо (до 3% об.) и оксиды азота (до 0,8%), сажа

Количество выбросов вредных веществ, поступающих от автотранспорта в атмосферу, может быть оценено расчетным методом. Исходными данными для расчета количества выбросов являются:

количество единиц автотранспорта разных типов, проезжающих по выделенному участку автотрассы в единицу времени;

нормы расхода топлива автотранспортом (средние нормы расхода топлива автотранспортом при движении в условиях города приведены в табл. 15.1);

Таблица 15.1

Тип автотранспорта	Средние нормы расхода	Удельный расход топлива
	топлива (л на 100 км)	Y1
		(л на 1 км)
Легковой автомобиль	11-13	0,11-0,13
Грузовой автомобиль	29-33	0,29-0,33
Автобус	41-44	0,41-0,44
Дизельный грузовой	31-34	0,31-0,34
автомобиль		

Таблица 15,2

Вид	Значение коэффициента (К)						
топлива	Угарный	углеводороды	Диоксид				
	газ		азота				
Бензин	0,6	0,1	0,04				
Дизельное	0,1	0,03	0,04				
топливо							

значения эмпирических коэффициентов, определяющих выброс вредных веществ от автотранспорт в зависимости сг 3;1да горючего (приведены в табл. 15.2).

Коэффициент К численно равен количеству вредных выбросов соответствующего компонента в литрах при сгорании в двигателе автомашины количества топлива (также в литрах), необходимого для проезда 1 км (т.е. равного удельному расходу).

Одним из видов антропогенных загрязнений окружающей среды является загрязнение сточными водами промышленных предприятий. В сточных водах могут содержаться различные компоненты в концентрациях, во много раз превышающих предельно допустимые. Загрязнение воды, имеющее место в сточных водах, можно смоделировать. Моделирование загрязнений воды состоит в приготовлении растворов со значительной концентрацией загрязнителей (на уровне $10-100~\Pi$ ДК). Обнаружение загрязненных сточных вод должно быть быстрым (экспрессным), так как, попав в окружающую среду, они могут принести огромный экологический ущерб (гибель организмов и деградация окружающей среды, попадание загрязнителей в цепи питания, заболевания людей и др.).

		ии видами ант	гропогенны	х загрязнений с	окружающей среды и п	методами
их экспрессного а	нализа.					
<u>Задание</u>						
		ва выоросов вр	эедных веще	еств в воздух от	автотранстпорта.	
<u>Оборудован</u>						
	ринадлежност	ги, микрокаль	кулятор.			
<u>Выполнение</u>			_	,	,	\
		-			жительства, отдыха	•
	5-1	KМ,	имею		хороший	обзор
				й территории).		
	-	ми длину уча	ютка (1, м),	предваритель	но определив средню	ю длину
	воего шага.					
	-	личество еди	-	•	ходящего по участку	
		период	времен		течение	20
			ге табл. 15.	3 (для пример	а в таблице заполнен	іа строка
	Пегковые авто					
	иц автотрансі	порта за 1 ча	с рассчиты	вают, умножая	и на 3 количество, пол	іученное
за 20 минут.						
Таблица 15.3						
Тип	Количество,	шт Все	го за 20	За 1 час, Np	шт Общий путь за	1
автотранспорта		M	инут		час, L, км	
Легковые	1111111		14	42		
автомобили	111111					
Грузовой						\dashv
автомобиль						
Автобусы						\dashv
Дизельные						\dashv
грузовые						
автомобили						
автомооили						
4. Рассчита	айте общий пу	ть, пройденны	ій выявленні	ым количеством	и автомобилей каждого	типа за 1
					билей каждого типа за	
					енный результат занеси	
15.3.		r ,	74 33 333	.,	L	
	айте количесть	во топлива (О	і л) разног	о вила сжигае	мого при этом двигат	епями
автомац		()	ПО			муле:
	Yj, значения У	⁷ возьмите из ⁹			4.1	
Полученный резул			10001. 10.11			
			пива кажлог	о вила (SO) и за	несите результат в табл	154
определите оощее		ица 15.4	лива каждот	о вида (БQ) и за	леенте результат в таол	. 15.1.
Тип автомо		<u>ища 13.4</u> Ni		Q в том ч	шепа	
тип автомо	усили	111	E	ензин		
				снзин	дизельное	
1	_		топливо			
1. легковые автом						
2. грузовые автом	ооили					
3. автобусы						
4. дизельные	грузовые					
автомобили						
		Всего ∑ Q				

 1 Подсчет единиц автотранспорта рекомендуется проводить в присутствии учителя, находясь на

удалении от автотрассы. <u>Цель работы</u>

каждому виду топлива и всего по табл. 15.5.

6. Рассчитайте количество выделившихся вредных веществ в литрах при нормальных условиях по

Обработка результатов и выводы

1. Рассчитайте:

массу выделившихся вредных веществ (m, г) по формуле: m = (V•M) / 22,4; количество чистого воздуха, необходимое для разбавления выделившихся вредных веществ для обеспечения санитарно-допустимых условий окружающей среды. Результаты запишите в табл. 15.6.

Таблица 15.6

Вид вредного	Количество, л	Масса, г	Количество	Значение ПДК,
вещества			воздуха для	$M\Gamma/M^3$
			разбавления, м ³	
CO				
Углеводороды				
NO2				

Справочные значения предельно допустимых концентраций приведены в Приложении² № 1.

- 2. Сопоставьте полученные результаты с количеством выбросов вредных веществ, производимых находящимися в вашем районе за водами, фабриками, котельными, автопредприятиями и другими загрязнителями воздуха. При этом пользуй
 - тесь соответствующими данными по экологической оценке количества выбросов от этих предприятий (такие дан
 - ные можно получить, например, в районном или городском комитете по экологии и т.п.).
- 3. Принимая во внимание близость к автомагистрали жилых и общественных зданий, сделайте вывод об экологической обстановке в районе исследованного вами участка автомагистрали

Таблица 15.5

Вид топлива	∑ Q, л	Количество вредных веществ, л					
Бензин		СО	углеводороды	NO2			
Дизельное топливо							
	Всего (V), л						

Приложение № 1

Таблица П 1.4 Основные свойства приоритетных загрязнителей воздушной среды

ПДК ПДК ПДК

 $^{^{2}}$ смотрите приложение № 1 к выполняемой работе

загрязнителя и его опасности химическая формула мг/м³ (символ)	Основные физико-химическа. и другие свойства	ие Основные источники поступления в атмосфе		ВНП вр. не- максим	
Оксид серы (IV)	Негорючий бесцветный газ	с Сгорание ископаемых топ	лив 0,05	0,5 1	.0
(диоксид серн, сернистый газ), SO ₂	резким характерным запраздражающий дыхательны пуги, ощутимый при концерациях 0,4—1,3 мг/м	ахом, (угля), производс не вых издёлий, выбросы пр нт- мышлениях предприятий	0-		
Оксид азота (IV)	Желтовато-бурый газ с	ха Выхлопные газы авт	отранс-	0,04 0,0	85
(диоксид азота), ÑO ₂	рактерным запахом, раздет дыхательные пути. Актив взаимодействует с другими з грязнителями воздуха	но лив, мусора й т.й.	рания топ-		
Оксид азота (II) {монооксид азота), NO	Бесцветный газ со слабы запахом. В атмосфере быстро превращается в оксид азота (IV)	м То же	0,06 0,4	5	3
Оксид углерода (II)	Бесцветный ядовитый газ	без Выхлопные газы т	епловых	3,0	5,0
20 4 (монооксид углерода, угарный газ), СО	жизни в атмосфере — 2—4 м	уля- двигателей (прод кого сгорания топлив), выбр le- сы промышленных предпр тий	укты непол- о- ия-		
Углеводороды нефти	Бесцветные пары со слабым	и Выхлопные газы тепл	ОВЫХ	25	100
300 4 (нефтепродукты), С ₅ —	запахом, обладающие наркот	ги- двигателей (продукты	непол-	(пентан	ı)
(пентан) С11	ческим эффектом	ного сгорания), аварийные стуации (проливы топлива)	ЭИ-		
Озон, ОЗ 0.10 4	Бесцветный газ с резким	ха- Фотохимический окс	иданг	0,03	0,16
0,10 4	рактерным запахом, ощути мым при концентрации 0,02 мг/м	н- образуется в атмосфер зультате фотохимических ро ций под воздействием солно ной радиации, в промышленности в процессе сварки и др.	еак-		
Хлор, C1 ₂ 0,1 1,0 2	Желто-зеленоватый газ с	рез- Разливы транспорти	руемого	0,0	3
0,1 1,0 2	ким раздражающим запахо выбросы сильный окислитель предприятий	м, сжиженного хлора, промышленных			
Фторводород, НЕ	Бесцвеггньгй газ с резки	м за- Выбросы предприят	тий по	0,0	05
0,02 0,5 2	пахом, сильный раздражит фосфорита, апа- дыхательных путей криоли-	ель производству тита, алюминиевых и товых заводов			
Аммиак, NH ₃	Бесцветный газ с резким	ха- ' Выбросы животновод	 цческих	0,	04
0,2 20 4	рактеряым запахом	комплексов (особенно лето холодильных комбинатов (установок)	м),		

- 0,008 10 2	ядовитый газ с Выбросы месторождений ом (запахом тух- нефти
0,0003 - 0,01 l (пары). Не значителы	дветные пары без запаха, Сжигание ископаемого топно тяжелее воздуха. лива, аварии, проливы металюрбируются древоси- материалами. Токсидов по производству хлора и целочи
680 - 10 000 - (углекислый газ, диок- прод (0,03— (5%)	дветный газ без запаха, Дыхание животных и расте- дукт жизнедеятельности нив, разложение (сгорание) низмов органических остатков и мусо- ра, разгерметизация установок пожаротушения, выбросы прелттриятий топливно-энерге-

¹Внп - воздух населенных пунктов.

характеру токсического воздействия.

По степени воздействия вредные вещества подразделяют на 4 класса опасности: 1 - чрезвычайно опасные; 2 - высоко опасные; 3 - умеренно опасные; 4 - малоопасные (ГОСТ 12.1.007-76).

чего происходит усиление токсического действия.

Практическая работа № 4

Порядок нормирования загрязняющих веществ в неорганизованном сбросе с водозаборного бассейна промышленной площадки

Общие положения

Водосборный бассейн промплощадки включает в себя площадь поверхностей – кровли зданий, асфальтовые дороги, тротуары и другие площади.

Сброс загрязняющих веществ с водосборного бассейна промплощадки может осуществляться организованно посредством системы канализации, сбросных, дренажных каналов, балок и т.д. и неорганизованно – поверхностным стоком в водные объекты и на рельеф местности. Сброс загрязняющих веществ с неорганизованным поверхностным стоком на рельеф местности приравнивается к сбросу (отводу) в водные объекты независимо от месторасположения промплощадки (территорий).

Загрязнение водного объекта, создаваемое через систему организованного и неорганизованного поверхностного стока талыми, дождевыми, поливочными и

²Врз - воздух рабочей зоны.

³ Класс опасности - обобщенная по нескольким показателям характеристика загрязнителятоксиканта: по его опасности при воздействии на организм человека исходя из величины ПДКврз, токсикологическим характеристикам,

⁴ Кумулятивный эффект - накопление в организме токсичных веществ либо продуктов их превращений, вследствие

⁵ОБУВ - ориентировочный безопасный уровень воздействия

дренажными водами, подлежит нормированию. Масса сброса загрязняющих веществ нормируется в зависимости от типа приемника сточных вод (назначения водного объекта, категории его использования) и места выпуска (зона санитарной охраны водозабора, зона рекреации населения и т.д.).

- 1. Расчет объемов и загрязняющих веществ при сбросе с промплощадки ливневых, талых и поливомоечных вод
- 2.1. Масса сброса загрязняющих веществ определяется по формуле:

$$M = (Q_g \times K_g + Q_T \times K_T + Q_{\Pi,M} \times K_{\Pi,M}) \times 10^{-3} (M^3)$$

гле:

Q_g - объем дождевых вод, куб.м.

 $Q_{T}\,$ - объем талых сточных вод, куб. м.

 $Q_{\text{п.м.}}$ – объем поливомоечного стока, куб.м.

 $K_{\rm g},\,K_{\scriptscriptstyle T},\,K_{\scriptscriptstyle \Pi.M.}$ - соответственно концентрация загрязняющих веществ в дождевом, талом и поливомоечном стоке, ч/л.

2.1.1. Объем дождевого стока с территории предприятия определяется по формуле:

Q=
$$10 \times h_g \times Y \times F$$
 (куб.м.),

где: Ү – коэффициент стока, равный:

0,85 – для кровли и асфальтовых покрытий;

0,30 – для грунтовых покрытий;

0.10 - для газонов.

F – площадь водосбора (территория предприятия), га;

 $h_{\rm g}$ - слой атмосферного осадка (за апрель – октябрь), мм.

Данные по величине атмосферного осадка запрашиваются в Удмуртском центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, и принимаются по средним многолетним данным метеостанции республики.

Пример:

За три года: 1995, 1996, 1997 г.г. слой атмосферного осадка составил:

Теплый период – 345,42 мм.

Холодный период – 137,80 мм.

2.1.2. Объем талого стока с территории предприятия определяется по формуле:

Q=
$$10 \times h_T \times Y_x \times F$$
 (куб. м.),

где: Y – коэффициент стока, принимается равным дождевому стоку;

 h_T — средний многолетний слой осадков за холодный период года (или запас воды в снежном покрове к началу снеготаяния). Принимается по данным ближайшей метеостанции, либо принимается среднегодовое количество осадков).

F – площадь соответствующих поверхностей, га.

2.1.3. Объем поливомоечного стока определяется по формуле:

$$Q_{\text{II.M.}} = 10 \times g_{\text{II.M.}} \times k \times F_{\text{M}} \times Y \text{ (куб. м.)},$$

где: $g_{\text{п.м}}$ – расход на одну механизированную мойку дорожных покрытий 1,2 л на кв.м., при ручной мойке из шланга – 0,5 л на кв.м;

k – среднее количество моек в году;

 $F_{\rm M}$ – площадь покрытий, подвергающихся мокрой уборке в гектарах (га);

Y = 0.5, Y - коэффициент стока.

Состав примесей в поверхностном стоке с территории промышленных предприятий определяется характером основных технологических процессов, а и

концентрация зависит от рода поверхности водосборного бассейна, технологического состояния искусственных покрытий, режима уборки территории, эффективности работы газо- и пылеуловителя, организации складирования и т.д.

- 2.2.1. Площадь водосборного бассейна определяется на генплане застройки предприятия, где выделяется все источники загрязнения стоянки автомашин и другой техники, склады ГСМ (горюче-смазочных материалов), заправочные станции, места погрузки выгрузки материалов и т.д.
- 2.2.2. На основании генплан составляется экспликация площадей водосборного бассейна промплощадки, включающей в себя различного рода поверхности, учитываемые в расчете:
- площадь, занятая застройкой (площадь крыши);
- площадь поверхности с твердым покрытием;
- площадь незадернованных грунтовых поверхностей;
- площадь газонов и других зеленых насаждений и т.д.
- 2.3. Концентрации загрязняющих веществ могут быть определены инструментальным путем или расчетным.
- 2.3.1. Отбор проб загрязняющих веществ в дождевом стоке рекомендуется проводить в соответствии с требованиями СНиП 2.04.03-85 (санитарные нормы и правила) невозможности отбора проб принимаются по справочным данным.
- В нашем случае концентрации загрязняющих веществ будут определены расчетным методом.
- 2.4. В зависимости от состава примесей, накапливающихся на территории промплощадок и смываемых поверхностным стокам, промышленные предприятия и отельные его участки разделяют на 2 группы.
- 2.4.1. К первой группе относятся предприятия, сток с которых при выполнении требований по упорядочению источников его загрязнения, по составу близко к поверхностному стоку с селитебных зон и не содержит веществ с токсичными свойствами.
- 2.4.2. Ко второй группе относятся предприятия, на которых по условиям производства на современном этапе не представляется возможным в полной мере исключить поступление в сток специфических веществ, обуславливающих высокие значения показателей ПДК и БПК стока.

Например, предприятия цветной металлургии, лесохимической, целлюлознобумажной, нефтеперерабатывающей, кожсырьевые и кожевенные заводы, мясокомбинаты, шпалопропиточные заводы и т.д.

Средние концентрации основных примесей в стоке дождевых и талых вод на предприятиях первой группы могут быть приняты согласно данных таблицы 1

Таблица 1 Концентрация загрязняющих веществ в стоке, формирующемся на территории промплощадок (г/л).

					Ингре	диенты				
Вил стока	Взвешивание		БПК п.**		Нефтепродукты*		ХПК		По общему солее-	
Вид стока	вещесті	ва (ВЗВ)	(пол	ное)	(Hq	РП)	AI	.11\	содержан	ию(СОЛ)
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Дождевой	0,5	2,0	0,02	0,03	0,01- 0,03	0,03- 0,07	0,1	0,15	0,2	0,5
Талый	2,0	4,0	0,1	0,3	0,03	0,04	-	-	_	-

Примечания:

- а) Максимальные значения по взвешенным веществам и нефтепродуктам принимаются для предприятий с интенсивным движением и значительным потреблением ГСМ, за исключением предприятий нефтяной промышленности, где содержание нефтепродуктов в поверхностном стоке может достигать 500мг/л.
- * Для предприятий нефтяной промышленности, при сбросе с атмосферными водами некоторых видов производственных сточных вод, содержание нефтепродуктов в поверхностном стоке составляет $500 \,\mathrm{mr/n}$.
- б) Приведенные концентрации ХПК и БПК относятся к растворенным примесям, в дисперсных примесях эти показатели увеличиваются в 2-3 раза.
- в) В поверхностном стоке предприятий второй группы, помимо примесей, перечисленных для первой группы, могут присутствовать также примеси, специфические для данного производства.
- ** Сток с территорий мясокомбинатов имеет высокие БПК (300 мг/л), содержит жиры (до 200 мг/л).

Задание

С территории промышленной площадки осуществляется сброс ливневых, талых и поливомоечных вод. Для поливомоечных работ используют механизированную мойку.

Используя данные таблицы 2 определить слой атмосферного осадка за два года (2002г, 2003 г.) согласно метеорологическим данным по метеостанции г. Ижевска Удмуртского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Таблица 2

Метеорологические	год					М	есяц	ы г	ода				
параметры													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сумма осадков,													
MM	2002	23,9	22,0	35,8	2,3	78,9	51,8	26,6	74,7	60,3	73,9	71,7	13,8
	2003	18,6	8,4	6,3	8,8	73,5	100,6	63,1	56,7	18,6	43,1	28,9	34,1

Используя данные таблицы 3 (студент вариант выбирает самостоятельно) определить объем и массу (Мвзв., Мьпкп, Мнфп, Мхпк, Мсол - по min концентрациям загрязняющих веществ в стоке) сброса загрязняющих веществ.

Таблица 3

		В	АРИА	НТЫ
ПОКАЗАТЕЛИ	1	2	3	4
1. Площадь водосбора (территория предприятия) (F), га	2,68	3,5	8,04	5,36
в том числе:				
а) крыши зданий и асфальтовых территорий;	2,08	0,5	7,04	4,36
б) грунтового покрытия;	0,1	0,1	0,2	0,1
в) задернованная площадь;	0,5	2,9	0,8	0,9
2. Среднее количество моек в году (k)	4	-	8	6
3. Площадь покрытий, подвергающихся мокрой уборке $(F_{\scriptscriptstyle M})$,га	1,5	-	4,5	3,1

Таблиц

a 4

Оформление результатов расчета

Вид стока, куб.м.				Macca co	роса загря	хидонкы	веществ 1	М, т/год
Показатели	Дождевой	Талый	Поливо- моечный	Мвзв.	Мъпкп	Мнфп	Мхпк	Мсол
Количество								

Выводы по результатам работы должны содержать рекомендации по снижению сброса загрязняющих веществ.

Согласно выбранного варианта студент отвечает письменно на 2 вопроса:

- 1 вариант 1,2 вопросы.
- 2 вариант 3,4 вопросы.
- 3 вариант 5,6 вопросы.
- 4 вариант 7,8 вопросы.

Контрольные вопросы к практической работе

- 1. Как осуществляется организованный сброс загрязняющих веществ с водосборного бассейна промплощадки?
- 2. Какие параметры влияют на нормирование массы сброса загрязняющих веществ?
- 3. Как могут быть определены концентрации загрязняющих веществ (назвать пути)?
- 4. От чего зависит концентрация состава примесей в поверхностном стоке с территории предприятия?
- 5. Какие данные запрашиваются в Удмуртском центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды для вычисления объема дождевого и талого стоков с территории предприятия.
- 6. Назовите месяцы для определения слоя атмосферного осадка соответственно дождевых и талых стоков промышленного предприятия.
- 7. Приемы, технологические схемы и установки очистки сточных вод.
- 8. Дайте определения БПК и ХПК.

Литература

- 1. А. И. Родионов, В. Н. Клушин, В. Г. Систер. Технологические процессы экологической безопасности. Учебник для студентов технических и технологических специальностей. Калуга: Издательство Н. Бочкаревой. 2000. 800 с., ил., табл.
- 2. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды УР в 2002-2003гг.
- 3. Н.Д.Сорокин. Плата за негативное воздействие на окружающую среду. Пособие для природопользователей. «Интеграл» СПб, 2008г.

15. Методические указания по выполнению курсовой работы

Задача курсового проектирования закрепить полученные знания и приобрести навыки их практического применения, ознакомления с нормативными методами расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе. Исходные данные для проектирования принять по последней цифре шифра зачетной книжки приложения 1,2.Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки объемом 20-30 страниц. В расчетно-пояснительной записке необходимо отобразить следующие разделы:

- 1. Введение.
- 2. Основная часть.

Теоретическая часть.

Оптимизация процесса или методов очистки от загрязняющих веществ.

Расчетно-практическая часть.

- 3. Заключение.
- 4. Литература.

Графическая часть проекта состоит из двух листов (формата А1).

Первый лист – общие данные проекта, таблицы, графики, диаграммы.

Второй лист – технологические схемы, оборудования, аппараты очистки от загрязняющих веществ.

Масштабы изображения студент выбирает сам.

В тексте рекомендуется помещать расчеты и диаграммы, таблицы.

Рекомендуемая литература для выполнения курсового проекта.

Основная:

- 1. Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при механической обработке металлов (на основе удельных показателей). НИИ Атмосфера, фирма «Интеграл». СПб, 1997.
- 2. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий (расчетным методом). М.: 1991. 80 с.

- 3. Методика расчета концентраций а атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86). Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 93 с. (смотри приложение 3).
- 4. И.И.Мазур, О.И.Молдаванов. Курс инженерной экологии: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1999 447 с., ил.

Дополнительная:

1. Н.Ф.Тищенко. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределения в воздухе. Справочное издание. – М.: Химия, 1991. – 368 с., ил.

Исходные данные

к курсовому проекту на тему: «Расчет концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе в районе источника их выброса

Вариант № 0-2 - от деревообрабатывающего производства» (приложение 1);

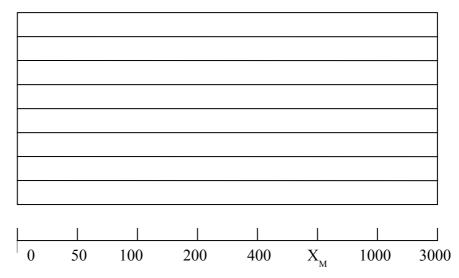
Вариант № 3-6 - от производства механической обработке металлов» (приложение 1);

Вариант №7-9 - при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 т/час» (приложение 2).

Задание (вариант 0-6).

- 1. Рассчитать концентрацию взвешенного вещества на расстоянии:
- a) 50 m;
- б) 100 м;
- в) 200 м;
- г) 400 м;
- д) 1000 м;
- е) 3000 м.
- 2. Сравнить данные с ПДК м.р.
- 3. Построить график зависимости концентраций выброса взвешенных веществ от расстояния до источника выброса.

Диаграмма максимальных концентраций загрязняющих веществ деревообрабатывающего производства или производства механической обработки металлов.



- 4. Дать рекомендации по расчету рассеивания в атмосфере вредных веществ.
- 5.Дать обоснование выбора оборудования и аппаратуры для очистки выбросов в атмосферу и сравнение их с передовыми техническими решениями.

Расчет выброса

загрязняющих веществ от деревообрабатывающего производства (вариант 1,2).

В процессе механической обработки древесины выделяется древесная пыль.

Количество выделяемой пыли зависит от технологического процесса механической обработки древесины (пиление, фрезерование, строгание, сверление), типа используемого оборудования и количества переработанной древесины.

Расчет количества выделяемой пыли ведется по удельным показателям в зависимости от времени работы каждой единицы оборудования.

Количество отходов и пыли, образующихся при механической обработке древесины, приведены в таблице 1.

Удельные выделения твердых отходов и пыли.

Таблица 1

у дельные выделения твердых отходов и ныли.						
		Количество отходов, образующихся при обработке древесины при работе				
		* *				
Наименование			рудования в течении			
	Модель, марка станков		1 сек. (г)			
станков			Древесная пыль			
		Общие отходы	размером менее 200			
			MM			
	Ц-2М, Ц-3, Д-5, Д-6, Ц 6-	9,31	1,83			
	2	7,51	1,03			
V nymmany i i i i	ЦКБ-4, ЦУ-2	14,00	1,39			
Круглопильные	ЦР-2, ЦР-3, ЦР-4	14,00	1,19			
	УН, УН-1, УС-2М	7,03	1,31			
	ПАРК-8	17,00	0,69			
	СФГ	13,00	0,81			
Строгальные и	СФБ-Г	24,39	1,00			
фуговальные	СФ 25-1	12,00	0,69			
	СФ-2, СФ-3, СФ-4	9,72	2,31			

«Чистое» время работы на том ил ином станке в день определяется руководителем участка, с чем составляется акт.

Валовый выброс пыли при каждой операции определяется по формуле:

$$M^g = g * t * n * 3600 * 10^{-6} * K, т/год$$
 (1)

где: g — удельный показатель количества пыли в отходах при работе единицы оборудования в сек. (г) табл.1;

t – время работы станка в день, час, t = 5;

n – количество станков данного типа;

K – число дней работы участка в году, K = 252.

Максимальный разовый выброс берется из табл. 1.

При наличии на участке очистных устройств расчет выбросов осуществляется следующим образом:

- определяем массу улавливаемой пыли в зависимости от типа устройств по формуле:

$$Y_v = M^{g*}A*\eta /100, T/год$$
 (2)

где: M^g – валовый выброс пыли за год;

А – коэффициент, учитывающий исправную работу очистного устройства;

 η — эффективность очистки данного устройства даны в прил.4 «Методика проведения интенсивности выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий с расчетным методом» циклон ЦН-15, эффективность улавливливается $\eta = 80 \div 85\%$ (85%).

Коэффициент А рассчитывается по формуле:

$$A = N/N_1$$

где: N – количество дней исправной работы очистных сооружений за год, N = 227;

 N_1 – количество дней работы деревообрабатывающего участка за год, N_1 = 252.

Масса пыли, попадающей в атмосферу (валовый выброс) при наличии очистных устройств будет определяться по формуле:

$$M^{g}_{0} = M^{g} - Y_{v}, \text{ т/год}$$

$$\tag{3}$$

Максимально разовый выброс при наличии очистных устройств определяется по формуле:

$$G = g (1 - \eta * A/100), \Gamma/c$$
 (4)

Для определения общих валовых и максимально разовых выбросов от деревообрабатывающего участка выбросы пыли от разного деревообрабатывающего оборудования суммируются.

Механическая обработка древесины производится на следующем технологическом оборудовании:

No	Наименование оборудования	Определяющая хар-ка оборудования (марка
п/п		станка), кол-во станков
		В АРИАНТ (последняя цифра учебного шифра
		студента)

		0	1	2
1	Станок круглопильный	Ц-2М	УС-2М (2 станка)	ЦКБ-4 (2 станка)
2	Станок круглопильный	СФБ-Г	ЦР-3	ПАРК-8 (3 станка)
3	Станок фуговальный односторонний	УН-1 (3 станка)	СФ 25-1 (2станка)	СФ 25-1
4	Станок строгальный	СФ-2	СФГ	СФБ-Г

- 1. Определить валовый выброс пыли: сколько всего поступило древесной пыли от всех станков на очистное оборудование (1).
- 2. Определяем массу улавливаемой пыли (2).
- 3. Рассчитать массу пыли, попадающей в атмосферу (валовый выброс) при наличии очистных устройств (3).
- 4. Определяем максимально разовый выброс для всех станков (4) и рассчитываем среднюю арифметическую величину и с учетом одновременности работы всего оборудования, в дальнейших расчетах используем значения средней арифметической величины это есть выброс взвешенные вещества (М взв.в) для приложения 1, строка 7.

Расчет выброса

загрязняющих веществ от производства металлообработки (вариант 3, 4, 5, 6).

Валовый выброс загрязняющих веществ от производства металлообработки определяется для каждого станка по формуле:

$$M_i^c = k * t * n * 3600 * 10^{-6} * K, т/год$$
 (1)

где: k – удельное выделение пыли технологическим оборудованием при работе с единицы оборудования (станка) в течение 1 сек., г (г/с); Значение k брать из табл. 2.1.1. «Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при механической обработке металлов (на основе удельных показателей);

t – время работы одной единицы оборудования в день, час, t = 7 часов;

n – количество дней работы участка в год, n = 252 дня;

К - количество станков.

При наличии устройств, улавливающих загрязняющие вещества, количество уловленных загрязняющих веществ рассчитывается по формуле:

$$M_i^{\text{o}} = M_i^{\text{c*}} A^* \eta / 100, \text{ т/год}$$
 (2)

Коэффициент $A = N/N_1$

где: N – количество дней исправной работы очистных сооружений за год, N = 227; N_1 – количество дней работы металлообрабатывающего участка за год, N_1 = 252.

 η — берется из паспорта улавливающего устройства или по прил. 4, стр. 28 «Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий», η = 75%.

В этом случае валовый выброс загрязняющих веществ будет определяться по формуле (для каждого вещества отдельно):

$$\mathbf{M}_{i}^{M} = \mathbf{M}_{i}^{c} - \mathbf{M}_{i}^{o} \tag{3}$$

Максимально разовый выброс берется из таблицы 2.1.1. «Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при механической обработке металлов (на основе удельных показателей).

Механическая обработка металлов производится на следующем технологическом оборудовании:

№ п/п	Наименование Технологического процесса, вид оборудования	Определяющая хар-ка оборудования (диаметр шлифовального круга, мм); количество станков и удельные выделения пыли (г/с) В АРИАНТ (последняя цифра учебного шифра студента)			
		3	4	5	6
1	Круглошлифовальные станки (абразивная, металлическая пыль), г/с	100 (2 станка), 0,01; 0,018	100 0,01; 0,018	600 (2 станка) 0,026; 0,039	400 (2 станка) 0,02; 0,03
2	Плоскошлифовальные станки (абразивная, металлическая пыль), г/с	350 0,02; 0,03	175 0,014; 0,022	450 (2 станка) 0,023; 0,036	500 0,025; 0,038
3	Бесцентрошлифовальные станки (абразивная, металлическая пыль), г/с	480 0,009; 0,016	30 0,005; 0,008	395 (2 станка) 0,006; 0,013	500 0,006; 0,013
4	Заточные станки (абразивная, металлическая пыль), г/с	500 0,024; 0,036	100 0,004; 0,006	450 0,022; 0,032	400 0,019; 0,029
5	Внутришлифовальные станки (абразивная, металлическая пыль), г/с	40 0,005; 0,008	10 0,003; 0,005	100 (2 станка) 0,01; 0,014	10 0,003; 0,005

Примечание: выделяющиеся в атмосферу вредные вещества (Γ /с), необходимо суммировать пыль абразивную и металлическую от всего технологического оборудования — максимально разовый выброс.

- 1. Рассчитать валовый выброс загрязняющих веществ от производства металлообработки (1).
- 2. Определить количество уловленных загрязняющих веществ (2).

- 3. Определить валовый выброс загрязняющих веществ выбрасываемых в атмосферу при наличии очистных устройств (3).
- 4. Определяем максимально разовый выброс для всего технологического оборудования, согласно номеру своего варианта это есть выброс взвешенные вещества $M_{\text{взв. в.}}$ Для приложения 1, строка 7.

Задание (вариант 7, 8, 9- последняя цифра учебного шифра студента)

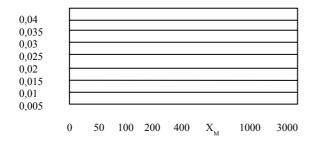
1. Произвести расчет выбросов оксида углерода и оксида азота в единицу времени (т/год, г/сек) при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 т/час (для варианта 7,8).

Данные выбросов загрязняющих веществ записать в виде таблицы:

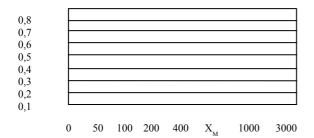
<u>№</u> п/п	Загрязняющие вещества		Валовый выброс, т/год	Максимальный разовый выброс, г/с
1	Углерода оксид		выорос, птод	Bisopoe, 170
2	Азота оксид			

- 2. Рассчитать концентрации CO и NO_2 (для вариантов 7, 8, 9) SO_2 , золы, V_2O_5 (для варианта 3) на расстоянии:
- a) 50 м;
- б) 100 м;
- в) 200 м;
- г) 400 м;
- д) 1000 м;
- е) 3000 м.
- 3. Сравнить данные концентрации с ПДК м.р. (для всех вариантов).
- 4. Построить график зависимости концентрации выброса для каждого загрязнителя от расстояния до источника выброса.

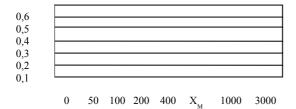
Диаграмма максимальных концентраций загрязняющих веществ 7 вариант (CO_2 и NO_2)



8 вариант (CO_2 и NO_2)



9 вариант (CO₂, NO₂, SO₂, V₂O₅, зола)



5. Дать рекомендации по расчету рассеивания в атмосфере вредных веществ.

Методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 т/год (вариант: 7, 8, 9).

Котельная установка – комплекс устройств для получения водяного пара под давлением (или горячей воды). Котельные установки подразделяются:

 ${\hbox{\footnotemberriang}}$ — отопительные, отопительно-производственные и производственные;

в зависимости от использования теплоносителя – паровые и водогрейные.

Котлоагрегаты котельных работают на различных видах топлива (твердом, жидком и газообразном). Выбросы загрязняющих веществ зависят как от количества и вида топлива, так и от типа котлоагрегата.

Учитываемыми загрязняющими веществами, выделяющимися при сгорании топлива являются: твердые частицы, оксид углерода, оксиды азота, сернистый ангидрид (серы диоксид), пятиокись ванадия.

При работах валовых выбросов вредных веществ в атмосферу от котельных агрегатов, необходимо пользоваться данными режимных карт, технических объектов пусконаладочных организаций, вводя необходимые значения в формулы указанной методики.

В случае их отсутствия следует воспользоваться табличными данными.

1. Валовый выброс твердых частиц в дымовых газах котельных определяется по формуле:

$$M_T = q_T *m *x * (1-\eta_T/100), \ \text{т/год}$$

где: q_T – зольность топлива, в %, q_T = 0,1 мазут (малосернистый, сернистый, высокосернистый);

т – количество израсходованного топлива за год, т;

x – безразмерный коэффициент, x = 0.01 (мазут);

 η_T – эффективность золоуловителей, η_T = 75÷85 – жалюзийные золоуловители;

 $\eta_T = 90-92$ — мокропрутковые золоуловители ВТИ.

Максимально разовый выброс определяется по формуле:

$$G_T = q_T * m' * x * (1 - \eta_T / 100) * 10^6 / n * 24 * 3600, \Gamma / c$$
 (2)

где: m' - расход топлива за самый холодный месяц года, т; n – количество дней в самом холодном месяце этого года.

2. Валовый выброс оксида углерода рассчитывается по формуле:

3.

$$M_{co} = C_{co} *m*(1-q_1/100)*10^{-3}$$
, т/год (3)

где: q_1 – потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания топлива, %; q_1 = 0,5 – для газа и мазута;

м – количество израсходованного топлива, т/год, тыс.м³/год;

 C_{co} – выход оксида углерода при сжигании топлива, кг/т; кг/тыс.м³.

Определяется по формуле:

$$C_{CO} = q_2 * R * Q_i^2$$
 (4)

где: q_2 – потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, в % = 0,5 – для газа и мазута;

R — коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива;

R = 1 - для твердого топлива;

R = 0.5 - для газа;

R = 0.65 - для мазута;

 Q_i^2 - низкая теплота сгорания натурального топлива, $Q_i^2 = 33,22 \text{ МДж/кг}$. Максимально разовый выброс оксида углерода определяется по формуле:

$$G_{CO} = C_{CO} * m' * (1-q_1/100)(1000/n*24*3600), r/c$$
 (5)

где: m' - расход топлива за самый холодный месяц, т, тыс.м³

4. Валовый выброс оксидов азота определяется:

$$MNO_2 = m^* Q_1^{2*} KNO_2^{*} (1-\beta)^* 10^{-3}, \text{ т/год}$$
 (6)

где: KNO_2 - параметр, характеризирующий количество оксидов азота образующихся на один Γ Дж тепла, κ г/ Γ Дж, KNO_2 = 0,08;

 β - коэффициент учитывающий степень снижения выбросов оксидов азота в результате реализации технических решений. Для котлов производительностью до 30 т/час $\beta=0.$

Максимально разовый выброс определяется по формуле:

GNO₂ = m'*
$$Q_i^{2*}$$
 KNO₂*(1- β)*(1000/ n*24*3600), Γ /c (7)

4. Валовый выброс оксидов серы определяется только для твердого и жидкого топлива по формуле:

$$M_{SO_2} = 0.02*m*S^r*(1-\eta'so_2)*(1-\eta''so_2), т/год$$
 (8)

где: S^{r} - содержание серы в топливе, %;

 $S^{r} = 0.5 \%$ - мазут малосернистый;

 $S^{r} = 1.9 \%$ - мазут сернистый;

 $S^{r} = 4.1 \%$ - мазут высокосернистый;

 η' so₂ - доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива. Для эстонских или ленинградских сланцев принимается ровный 0,8, остальных сланцев – 0,5; углей

Канско-Ачинского бассейна -0.2 (Березовских -0.5); торфа -0.15, экибастузских -0.02, прочих углей -0.1; мазута -0.2;

 η'' so₂ - доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе. Для сухих золоуловителей принимается равной 0.

Максимально разовый выброс определяется по формуле:

$$G_{SO_2} = 0.02 * m' * S^r * (1 - \eta' so_2) * (1 - \eta'' so_2) * 10^6, \ \Gamma/c$$
(9)

5. Расчет выбросов пятиокиси ванадия, поступающей в атмосферу с дымовыми газами при сжигании жидкого топлива, выполняется по формуле:

$$MV_2O_5 = QV_2O_5*B'*(1-\eta_{oc})*(1-\eta_T/100)*10^{-3}$$

где: В'- количество израсходованного мазута за год, т;

 QV_2O_5 - содержание пятиокиси ванадия в жидком топливе, г/т (при отсутствии результатов анализа топлива, для мазута с $S^r > 0.4$ % определяют по формуле (11);

 η_{oc} - коэффициент оседания пятиокиси ванадия на поверхностях нагрева котлов; $\eta_{oc} = 0.07$ – для котлов с промежуточными пароперегревателями, очистка поверхностей нагрева которых производится в остановленном состоянии;

 $\eta_{\text{oc}} = 0{,}05$ — для котлов без промежуточных паронагревателей при тех же условиях очистки;

 $\eta_{oc} = 0 - для остальных случаев;$

 η_T - доля твердых частиц в продуктах сгорания жидкого топлива, улавливаемых в устройствах для очистки газов мазутных котлов (оценивается по средним показателям работы улавливающих устройств за год).

Содержание пятиокиси ванадия в жидком топливе ориентировочно определяют по формуле:

$$QV_2O_5 = 95,4S-31,6$$
 (11)

где: S - для малосернистого мазута -0.5

для сернистого мазута – 1,9

для высокосернистого мазута – 4,1

Расчет максимального разового выброса пятиокиси ванадия выполняется по формуле:

$$GV_2O_5 = QV_2O_5*B''*(1-\eta_{oc})*(1-\eta_T/100)/n*3600*24$$
, Γ/c

где: В''- количество мазута, израсходованного в самый холодный месяц года, т; n - количество дней в расчетном месяце.

Приложение 1.

No	Vanautanyatyyya afaayyayyay	E	Значен	ия, номе	ра вариан	нтов, согл	асно за	четной к	нижке
п/п	Характеристика обозначения	Единица	О	1	2	3	4	5	6
1	Участок оснащен циклоном, число дымовых труб, N	ШТ.	1	1	1	1	1	1	1
2	Высота источника выброса, Н	M	12	12	12	30	30	30	30
3	Диаметр устья трубы, D	M	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,65
4	Скорость выхода газовоздушной смеси, ω_0	м/с	5,35	5,35	5,35	9,4	6,78	13,58	4,6
5	Температура газовоздушной смеси, Тг	°C	20	20	20	20	20	20	20
6	6 Температура окружающего воздуха, T _в		18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7
7	Выброс - взвешенные вещества, Мвзв.в	г/с							
8	Коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (для Удмуртской Республики), А	-	160	160	160	160	160	160	160
9	Безразмерный коэффициент, учитывающий рельеф местности, т.к. рельеф площадки ровный, η	-	1	1	1	1	1	1	1
10	Безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе, т.к. степень очистки выбросов от 75 до 90% в циклоне, F	-	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
11	Максимальные разовые предельно допустимые концентрации (ПДК м.р.) взвешенных веществ	$M\Gamma/M^3$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Объект: котельная

Вид топлива: газ, мазут Исходные данные к курсовому проекту

Бид	топлива. Таз, мазут исходные данные к курсовому проекту				
№	Характеристика, обозначения	Единиц	Номер варианта		
п/п	Характеристика , обозначения	a	7	8	9
1	2	3	4	5	6
1	Название топлива		природ-й газ	природ-й газ	мазут
2	Расход топлива за год, т	тыс. м ³	8497,0	10608,0	-
3	Расход топлива за самый холодный месяц, т	тыс. м ³	1153,0	1857,0	-
4	Количество дней в самом холодном месяце	-	31	31	-
5	Характеристика топлива: низкая теплота сгорания натурального топлива, Q_i^2	МДж/кг	33,32	33,32	-
6	Число дымовых труб, N	шт.	1	1	1
7	Высота источника выброса, Н	M	45	90	90
8	Диаметр устья трубы, D	M	2,1	3,6	3,6
9	Скорость выхода газовоздушной смеси, ω_0	M	2,86	1,24	1,24
10	Температура газовоздушной смеси, Тг	°C	260	150	150
11	Температура окружающего воздуха, Тв	°C	22	22	22
12	Коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, А		160	160	160
13	Безразмерный коэффициент, учитывающий рельеф местности, т.к. рельеф площадки ровный, п	-	1	1	1
14	Безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе, F	-	1	1	1
15	Выброс оксида углерода, Мсо	г/с			30,83
16	Выброс оксида азота, М 102	г/с			2,45
17	Выброс диоксида серы, Мѕо2	г/с	-	-	93,36
18	Выброс золы, Мз	г/с	-	-	3,75
19	Выброс пятиокиси ванадия, Му2О5	г/с	-	-	0,36
20	Максимальные разовые предельно допустимые концентрации (ПДК м.р.):				
	диоксида серы	$M\Gamma/M^3$	-	_	0,5
	золы	$M\Gamma/M^3$	-	_	0,5
	оксида азота	$M\Gamma/M^3$	0,085	0,085	0,085
	оксида углерода	$M\Gamma/M^3$	5,0	5,0	5,0
	пятиокиси ванадия	$M\Gamma/M^3$	-	-	0,002

Характеристика топлив (при нормальных условиях)

Приложение 3.

,
к/кг

Приложение 4.

Средние эксплуатационные особенности аппаратов газоочистки и пылеулавливания

Средние эксплуатационные осоос	собенности аппаратов газоочистки и пылеулавливания Эффективность улавливания, %				
Аппарат, установка	Твердых и жидких	Газообразных и			
	частиц	парообразных компонентов			
1	2	3			
Отходящие газы котельных		•			
Батарейные циклоны типа БЦ-2	85	-			
Батарейные циклоны на базе секции СЭЦ-24	93	-			
Батарейные циклоны типа ЦБР-150У	93-95	-			
Электрофильтры	97-99	-			
Центробежные скрубберы ЦС-ВТИ	88-90	-			
Мокропрутковые золоуловители ВТИ	90-92	-			
Жалюзийные золоуловители	75-85	-			
Групповые циклоны ЦН-15	85-90	-			
Дымосос-пылеуловитель ДП-10	90	-			
Аспирационный воздух от оборудован	ния механической обрабо	тки материалов			
а) аппараты и установки сухой отчист					
Пылеосадочные камеры	45-55	-			
Циклоны ЦН-15	80-85	-			
Циклоны ЦН-11	81-87	-			
Циклоны СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34	85-93	-			
Конические циклоны СИОТ	60-70	-			
Циклоны ВЦНИИОТ с обратным	60-70	-			
конусом					
Циклоны Клайпедского ОЭКДЫ,	60-90	-			
гипродравпрома					
Групповые циклоны	85-90	-			
Батарейные циклоны БЦ	82-90	-			
Рукавные фильтры	99 и выше	-			
Сетчатые фильтры (для волокнистой пыли)	93-66	-			
Индивидуальные агрегаты типа ЗИЛ-		_			
900, АЭ212, ПА212 и др.	95				
Циклоны ЛИОТ	70-80	_			
б) аппараты и установки мокрой очист					
Циклоны с водяной пленкой ЦБП и					
СИОТ	80-90	-			
Полые скрубберы	70-89	-			
Пенные аппараты	75-90	-			
Центробежный скруббер ЦС-ВТИ	88-93	-			
Низконапорные пылеуловители КМП	92-96	-			
Пылеуловители вентиляционные					
мокрые типа ПВМ, ПВ-2	97-99	-			
Трубы Вентури типа ГВПВ	90-94				
Вентиляционные выбросы при окрас	ке изделий				
Гидрофильтры:					
форсуночные	86-92	-			
каскадные	90-92	20-30			

барботажно-вихревые	94-97	40-50
Установки рекуперации растворителей (адсорбция твердыми поглотителями)	-	92-95
Установки термического окисления		
паров растворителей	-	95-97
Установки каталитического	-	95-99
окисления паров растворителей		

Приложение 5.

Зависимость Кло, от паропроизводительности котлоагрегатов

Зависимость KNO ₂ OT паропроизводительности котлоагрегатов							
Попочинационализаци изаки		Значение К NO2					
Паропроизводительность котлоагрегатов, (т/ч)	Природный газ,	Антрацит	Бурый уголь	Каменный			
nomperaros, (1/1)	мазут	типрации	Бурын уголь	уголь			
0,5	0,08	0,095	0,155	0,172			
0,7	0,085	0,10	0,163	0,18			
1,0	0,09	0,105	0,168	0,188			
2,0	0,095	0,12	0,183	0,20			
3,0	0,98	0,125	0,192	0,21			
4,0	0,099	0,13	0,198	0,215			
6,0	0,1	0,135	0,205	0,225			
8,0	0,102	0,138	0,213	0,228			
10,0	0,103	0,14	0,215	0,235			
15,0	0,108	0,15	0,225	0,248			
20,0	0,109	0,155	0,23	0,25			
25,0	0,11	0,158	0,235	0,255			
30,0	0,155	0,16	0,24	0,26			

Приложение 6.

Значения коэффициента χ в завис: Тип топки	Топливо	X
С неподвижной решеткой и ручным забросом	Бурые и каменные угли	0,0023
1 17 1	Антрациты:	,
	АС и АМ	0,0030
	АРШ	0,0078
С пневмомеханическими забрасывателями и	Бурые и каменные угли	0,0025
неподвижной решеткой	Антрацит АРШ	0,0088
С цепной решеткой прямого хода	Антрацит АС и АМ	0,0020
С забрасывателями и цепной решеткой	Бурые и каменные угли	0,0035
Шахтная	Твердое топливо	0,0019
Шахтно-цепная	Торф кусковой	0,0019
Наклонно-переталкивающая	Эстонские сланцы	0,0025
Слоевые топки бытовых теплонагревателей	Дрова	0,0050
	Бурые угли	0,0011
	Каменные угли	0,0011
	Антрацит, тощие угли	0,0011

Камерные топки:		
паровые и водогрейные котлы	Мазут	0,010
	Газ природный, попутный и	-
	коксовый	
бытовые теплогенераторы	Газ природный	-
	Легкое жидкое (печное)	0,010
	топливо	

Приложение 7.

Характеристика топок котлов малой мощности

Тип топки и котла	Топок котлов малои мощности	q_2	q_1
1	2	3	4
Топка с цепной решеткой	Донецкий антрацит	0,5	13,5/10
Шахтно-цепная топка	Торф кусковой	1,0	2,0
Топка с пневмомеханическими	Угли типа кузнецких	0,5-1	5,5/3
забрасывателями и	Угли типа донецких	0,5-1	6/3,5
цепной решеткой прямого хода	Бурые угли	0,5-1	5,5/4
Топка с пневмомеханическими	Каменные угли	0,5-1	5,5/3
забрасывателями и цепной решеткой обратного хода	Бурые угли	0,5-1	6,5/4,5
Топка с пневмомеханическими	Донецкий антрацит	0,5-1	13,5/10
забрасывателями и	Бурые угли типа	0.5.1	0/7.5
неподвижной решеткой	подмосковных	0,5-1	9/7,5
	Бурые угли типа бородинских	0,5-1	6/3
	Угли типа кузнецких	0,5-1	5,5/3
Шахтная топка с наклонной решеткой	Дрова, дробленные отходы, опилки, торф кусковой	2	2
Топка скоростного горения	Дрова, щепа, опилки	1	4/2
Слоевая топка котла паропроизводительностью более 2 т/ч	Эстонские сланцы	3	3
Камерная топка с твердым	Каменные угли	0,5	5/3
шлакоудалением	Бурые угли	0,5	3/1,5
	Фрезерный торф	0,5	3/1,5
Камерная топка	Мазут	0,5	0,5
	Газ (природный, попутный)	0,5	0,5
	Доменный газ	1,5	0,5

Примечание: в графе 4 большие значения – при отсутствии средств уменьшения уноса, меньшие – при остром дутье и наличии возврата уноса, а также для котлов производительностью 25-35т/ч.

ПРИЛОЖЕНИЕ К МЕТОДИЧЕСКИМ УКАЗАНИЯМ

по выполнению курсового проекта по дисциплине "Процессы и аппараты защиты окружающей среды"

2. РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ОДИНОЧНОГО ИСТОЧНИКА

2.1. Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества $c_{\scriptscriptstyle M}$ (мг/м³) при выбросе газовоздушной смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии $\pi_{\scriptscriptstyle M}$ (м) от источника и определяется по формуле

$$c_{\rm M} = \frac{AMFmn\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_{\perp} \Delta T}}, \qquad (2.1)$$

где A —коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы; M (г/с) —масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени; F—безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе; m и n — коэффициенты, учитывающие условия выхода газо-воздушной смеси из устья источника выброса; H (м) — высота источника выброса над уровнен земли (для наземных источников при расчетах принимается H=2 м); η — безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (см. раздел 4), в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, $\eta=1$; ΔT (°C) — разность между температурой выбрасываемой газо-воздушной смеси T_r и температурой окружающего атмосферного воздуха $T_{\rm B}$;

 $V_1 \, (\text{m}^3 / \text{c})$ — расход газо-воздушной смеси, определяемый но формуле

$$V_{1} = \frac{\pi D^{2}}{4} w_{0}, \qquad (2.2)$$

где D (м) — диаметр устья источника выброса; W_0 (м/с)— средняя скорость выхода газо-воздушной смеси из устья источника выброса.

- 2.2. Значение коэффициента А, соответствующее неблагоприятным метеорологическим условиям, при которых концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе максимальна, принимается равным:
- а) 250 для районов Средней Азии южнее 40° с. ш., Бурятской АССР и Читинской области;
- б) 200 для Европейской территории СССР: для районов РСФСР южнее 50° с. ш., для остальных районов Нижнего Поволжья, Кавказа, Молдавии; для Азиатской территории СССР: для Казахстана, Дальнего Востока и остальной территории Сибири и Средней Азии;
- а) 180 для Европейской территории СССР и Урала от 50 до 52° с. ш. за исключением попадающих в эту зону перечисленных выше районов и Украины;
- г) 160 для Европейской территории СССР и Урала севернее 52° с. ш. (за исключением Центра ЕТС), а также для Украины (для расположенных на Украине источников высотой менее 200 м в зоне от 50 до 52° с. ш. 180, а южнее 50° с. ш. 200);
- д) 140 для Московской, Тульской, Рязанской, Владимирской, Калужской, Ивановской областей.

Примечание.

Для других территорий значения коэффициента A должны приниматься соответствующими значениям коэффициента A для районов СССР со сходными климатическими условиями турбулентного обмена.

2.3.3начения мощности выброса М (г/с) и расхода газо-воздушной смеси V_1 (м³/с) при проектировании предприятий определяются расчетом в технологической части проекта или принимаются в соответствии с действующими для данного производства(процесса) нормативами. В расчете принимаются сочетания М и V_1 , реально имеющие место в течение года при установленных

(обычных) условиях эксплуатации предприятия, при которых достигается максимальное значение $c_{\scriptscriptstyle M}$.

Примечания.

- 1. Значение M следует относить к 20—30-минутному периоду осреднения, в том числе и в случаях, когда продолжительность выброса менее 20 мин.
- 2. Расчеты концентраций, как правило, проводятся по тем веществам, выбросы которых удовлетворяют требованиям п. 5.21.
- 2.4. При определении значения ΔT (°C) следует принимать T_{e} атмосферного воздуха температуру окружающего (°C), равной температуре наружного наиболее средней максимальной воздуха жаркого месяца года по СНиП 2.01.01—82, а температуру выбрасываемой атмосферу газо-воздушной смеси T_{c} (°C)—no действующим для данного производства технологическим нормативам

Примечания.

- I. Для котельных, работающих по отопительному графику, допускается при расчетах принимать значения $T_{\it e}$ равными средним температурам наружного воздуха за самый холодный месяц по СНиП 2.01.01—82.
- 2. При отсутствии данных по T_6 в СНиП 2.01.01—82 они запрашиваются в территориальном управлении Госкомгидромета (УГКС) по месту расположения предприятия.
 - 2.5.3начение безразмерного коэффициента F принимается:
- а) для газообразных вредных веществ и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т. п., скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю) 1;
- б) для мелкодисперсных аэрозолей (кроме указанных в п. 2.5а) при среднем эксплуатационном коэффициенте очистки выбросов не менее 90% 2; от 75 до 90% 25; менее 75% и при отсутствии очистки 3

Примечания. у

1. При наличии данных о распределении на выбросе частиц аэрозолей по

размерам определяются диаметр d_g , так что масса всех частиц диаметром больше d_g составляет 5 % общей массы частиц, и соответствующая d_g скорость оседания V_g (м/с). Значение коэффициента F устанавливается в зависимости от безразмерного отношения V_g / $u_{\rm M}$, где $u_{\rm M}$ —опасная скорость ветра (см. п. 2.9). При этом F=1 в случае V_g / $u_{\rm M}$ < 0.015 и F=1,5 в случае 0,015
< 00,030. Для остальных значения 00,030 коэффициент 00,0

2. Вне зависимости от эффективности очистки значение коэффициента F принимается равным 3 при расчетах концентраций пыли в атмосферном воздухе для производств, в которых содержание водяного пара в выбросах достаточно для того, чтобы в течение всего года наблюдалась его интенсивная

конденсация сразу же после выхода в атмосферу, а также коагуляция влажных пылевых частиц (например, при производстве глинозема мокрым способом).

2.6. Значения коэффициентов *m* и *n* определяются в зависимости от параметров

$$f$$
, Vм, V_м и f_e .

$$f = 1000 \, \frac{\omega_0^2 D}{H^2 \, \Lambda T}; \tag{2.3}$$

$$v_{\rm M} = 0.65 \sqrt[3]{\frac{\overline{V_1 \Delta T}}{H}}; \qquad (2.4)$$

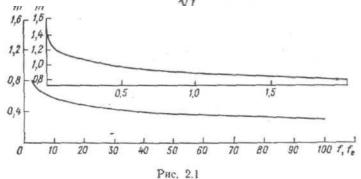
$$v_{\rm M}' = 1.3 \frac{w_0 D}{H};$$
 (2.5)

$$f_{\rm e} = 800 (v_{\rm M}')^3.$$
 (2.6)

Коэффициент m определяется в зависимости от f по рис. 2.1 или по формулам:

$$m = \frac{1}{0.67 + 0.1\sqrt{f} + 0.34\sqrt[4]{f}} \text{ npu } f < 100;$$
 (2.7a)

$$m = \frac{1.47}{\sqrt[4]{f}}$$
 при $f \ge 100$. (2.76)



84

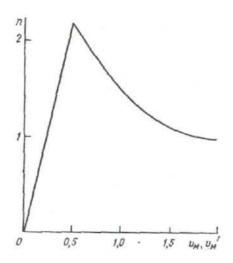


Рис. 2.2.

Для $f_e < f < 100$ значение коэффициента m вычисляется при $f = f_e$

Коэффициент n при f < 100 определяется в зависимости от V_M по рис.2.2

$$n=1$$
 при $v_{\rm M}\geqslant 2;$ (2.8a) $n=0.532v_{\rm M}^2-2.13v_{\rm M}+3.13$ при $0.5\leqslant v_{\rm M}<2;$ (2.86) или по формулам $n=4.4v_{\rm M}$ при $v_{\rm M}<0.5$. (2.8B)

При $f \le 100$ или $\Delta T \sim 0$ коэффициент n вычисляется по п. 2.7.

2.7. Для $f \geqslant 100$ (или $\Delta T \approx 0$) и $v_{_{\rm M}}' \geqslant 0.5$ (холодные выбросы) при расчете $c_{_{\rm M}}$ вместо формулы (2.1) используется формула

$$c_{\mathsf{M}} = \frac{AMFn\eta}{H^{1/2}} K, \tag{2.9}$$

$$K = \frac{D}{8V_1} = \frac{1}{7.1 \sqrt{w_0 V_1}}, \qquad (2.10)$$

іричем n определяется по формулам (2.8a)-(2.8b) при $v_{\rm M}=v_{\rm M}'$. Аналогично при f<100 и $v_{\rm M}<0.5$ или $f\geqslant100$ и $v_{\rm M}'<0.5$ (случаи предельно малых опасных скоростей ветра) расчет $c_{\rm M}$ вместо (2.1) производится по формуле

$$c_{\rm M} = \frac{AMFm'\eta}{H^{7/s}}, \qquad c_{\rm M} = \frac{AMFm'\eta}{H^{7/s}}, \qquad (2.11)$$

где
$$m'=2,86m$$
 при $f<100,\ v_{\rm M}<0,5;$ (2.12a) $m'=0,9$ при $f\geqslant100,\ v_{\rm M}'<0,5.$ (2.12b)

Примечание.

Формулы (2.9), (2.11) являются частными случаями общей формулы (2.1).

2.8. Расстояние $x_{\scriptscriptstyle M}$ (м) от источника выбросов, на котором приземная концентрация c (мг/м³) при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения $c_{\scriptscriptstyle M}$, определяется по формуле

$$x_{\rm M} = \frac{5 - F}{4} dH, \qquad (2.13)$$

где безразмерный коэффициент d при f < 100 находится по формулам:

$$d = 2,48 (1 + 0,28 \sqrt[3]{f_e}) \text{ при } v_{\text{M}} \leq 0,5;$$

$$d = 4,95 v_{\text{M}} (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}) \text{ при } 0,5 < v_{\text{M}} \leq 2;$$

$$d = 7 \sqrt{v_{\text{M}}} (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}) \text{ при } v_{\text{M}} > 2.$$

$$(2.14a)$$

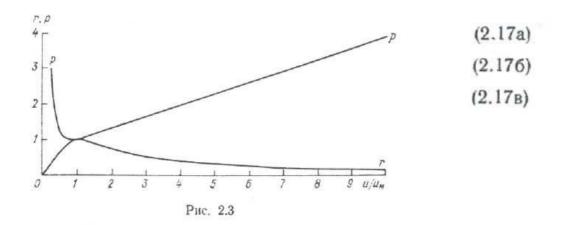
При f > 100 или $\Delta T \sim 0$ значение d находится по формулам:

$$d = 5.7$$
 при $v'_{\text{M}} \leqslant 0.5$; (2.15a)
 $d = 11.4v'_{\text{M}}$ при $0.5 < v'_{\text{M}} \leqslant 2$; (2.15b)
 $d = 16 \sqrt{v'_{\text{M}}}$ при $v'_{\text{M}} > 2$. (2.15b)

2.9. Значение опасной скорости $u_{\rm M}$ (м/с) на уровне флюгера (обычно 10 м от уровня земли), при которой достигается наибольшее значение приземной концентрации вредных веществ $c_{\rm M}$, в случае f < 100 определяется по формулам:

$$u_{\rm M} = 0.5$$
 при $v_{\rm M} \leqslant 0.5$; (2.16a)
 $u_{\rm M} = v_{\rm M}$ при $0.5 < v_{\rm M} \leqslant 2$; (2.16b) $u_{\rm M} = v_{\rm M} (1 + 0.12 \sqrt{f})$ при $v_{\rm M} > 2$. (2.16b)

При $f \le 100$ или $\Delta T \sim 0$ значение $u_{\scriptscriptstyle M}$ вычисляется по формулам:



2.10. Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества $c_{\text{ми}}$ (мг/м³) при неблагоприятных метеорологических условиях и скорости ветра u (м/с), отличающейся от опасной скорости ветра $u_{\text{м}}$ (м/с), определяется по формуле

$$c_{\text{M}\mu} = rc_{\text{M}}, \tag{2.18}$$

где r — безразмерная величина, определяемая в зависимости от отношения u / $u_{\scriptscriptstyle M}$ по рис. 2.3 или по формулам:

$$r = 0.67 (u/u_{\text{M}}) + 1.67 (u/u_{\text{M}})^2 - 1.34 (u/u_{\text{M}})^3$$
 при $u/u_{\text{M}} \leqslant 1$; (2.19a)

$$r = \frac{3 (u/u_{\rm M})}{2 (u/u_{\rm M})^2 - (u/u_{\rm M}) + 2} \text{ при } u/u_{\rm M} > 1.$$
 (2.196)

Примечание.

При проведении расчетов не используются значения скорости ветра u<0,5 м/с, а также скорости ветра u>u*, где u*— значение скорости ветра, превышаемое в данной местности в среднем многолетнем режиме в 5 % случаев. Это значение запрашивается в УГКС Госкомгидромета, на территории которого располагается предприятие, или определяется по климатическому справочнику.

2.11. Расстояние от источника выброса \mathcal{X}_{MU} (м), на котором при скорости ветра u и неблагоприятных метеорологических условиях приземная концентрация

вредных веществ достигает максимального значения C_{MH} (мг/м³), определяется по формуле:

$$x_{\text{M}u} = px_{\text{M}}, \qquad (2.20)$$

где p — безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения $u/u_{\scriptscriptstyle M}$ по рис 2.3 или по формулам:

$$p = 3$$
 при $u/u_{\text{M}} \leqslant 0.25$; (2.21a)

$$p = 8,43 (1 - u/u_{\rm M})^3 + 1$$
 при $0.25 < u/u_{\rm M} \le 1$; (2.216)

$$p = 0.32u/u_{\rm M} + 0.68$$
 при $u/u_{\rm M} > 1.$ (2.21в)

2.12. При опасной скорости ветра $u_{\rm M}$ приземная концентрация вредных веществ c (мг/м³) в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях x (м) от источника выброса определяется по формуле:

$$c = s_1 c_M, \tag{2.22}$$

где s_I — безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения $x/x_{\rm M}$ и коэффициента F по рис. 2.4 или по формулам;

$$s_1 = 3 (x/x_M)^4 - 8 (x/x_M)^3 + 6 (x/x_M)^2 \text{ при } x/x_M \le 1;$$
 (2.23a)

$$s_1 = \frac{1,13}{0,13 (x/x_M)^2 + 1} \text{ при } 1 < x/x_M \le 8;$$
 (2.236)

$$s_1 = \frac{x/x_M}{3,58 (x_1 x_M)^2 - 35,2 (x_1 x_M) + 120}$$
 при $F \leqslant 1,5$ и $x/x_M > 8$;

(2.23B)

$$s_1 = \frac{1}{0.1 (x/x_M)^2 + 2.47 (x/x_M) - 17.8}$$
 при $F > 1.5$ и $x/x_M > 8$.

(2.23r)

Для низких и наземных источников (высотой Н не более 10 м) при значениях

 $x/x_{\rm M} < 1$ величина S_I в (2.22) заменяется ни величину $S_{I,}$ определяемую в зависимости от $x/x_{\rm M}$ и Н по рис. 2.5 или по формуле

$$s_1^{\kappa} = 0,125 (10 - H) + 0,125 (H - 2) s_1$$
 при $2 \leqslant H < 10$. (2.24)

Прим ечание.

Аналогично определяется значение концентрации вредных веществ на различных расстояниях по оси факела при других значениях скоростей ветра u неблагоприятных метеорологических условиях. По формулам (2.18), (2.20) определяются значения величин $\mathbf{c}_{\text{ми}}$ и $\mathbf{x}_{\text{ми}}$. В зависимости от отношения $\mathbf{x}/\mathbf{x}_{\text{ми}}$ определяется значение S_{I_i} но рис. $2A_i$, 2.5 или по формулам (2.23), (2.24). Искомое значение концентрации вредного вещества определяется путем умножения $\mathbf{c}_{\text{ми}}$ на \mathbf{S}_1 .

Приложение 8 Справочное

Примеры расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе в районе источников их выброса при неблагоприятных метеорологических условиях.

Пример 1

('» Характеристики, обозначения, расчет	Единица	Значение
1 Число дымовых труб, N.	шт.	1
2 Высота дымовых труб, Н	M	35
3 Диаметр устья трубы, Д	M	1,4 7
4 Скорость выхода газовоздушной смеси, wo	M/C	7
5 Температура газовоздушной смеси, Тг	°C	125
6 Температура окружающего воздуха, Г _в	°C	25
7 Выброс двуокиси серы, Mso ₂	r/c	12
8 Выброс золы, M_3	г/с	2,6
Выброс окислов азота (в пересчете на двуокись азота), МSO2	г/с	0,2
10 Коэффициенты в формуле (2.1)		200
A SUBSTITUTE OF THE SUBSTITUTE		200
η		_ 1
11 Максимальные разовые предельно допустимые концентрации (ГДК)		0.7
двуокиси серы	MT/M ³	0,5
золы	Mr/m³	0,5
окислов азота	$M\Gamma/M^3$	0,085
12 Объем газовоздушной смеси (по формуле (2.2))		
$V_1 = 7*(\pi^*1.4^2)/4$	м³/c	10,8
13 Перегрев газовоздушной смеси, ΔT	200	100
$\Delta T = T_r - T_e = 125 - 25$	°C	100
Параметр f (по формуле (2.3)) $F = 1000*(7^2*1.4)/35^2*100$	-	0,56
15 Параметр v_M (по формуле (2.4))		Carl Marine
$v_M = 0.65 {}^{3}\sqrt{(10.8*100/35)}$	M/C	2,04
16 Параметр v_M (по формуле (2.5))		
$v_{M} = (1,3*7*1,4)/35$		0,36
$V_M = (1, \mathcal{J} + 1, \tau_J) \mathcal{J}$	_	0,30
	1	

17	Параметр f_e (по формуле (2.6)) $f_e = 800 (0.36)^3$	_	37,32
18 19	Параметр <i>m</i> (по формуле (2.7а) или рис. 2.1) Параметр <i>n</i> (по формуле (2.8а) или рис. 2.2)	_	0,98
20	Опасная скорость ветра u_M (по формуле (2.16в)) $u_M = 2,04(1+0,12\sqrt{0},56)$	M/C	2,2
21	Параметр d (по формуле (2.14в)) $d = 7\sqrt{2},04(1+0,28^3\sqrt{0,56})$	_	12,3
	Расчет концентрации двуокиси серы		
22	Максимальная концентрация SO_2 (по формуле (2.1)) С M^{SO_2} =(200*12*1*0.98*1*10/(35 ²³ $\sqrt{10.8*100}$)	MT/M ³	0,19
23	Расстояние x_M^{SO2} (по формуле (2,13)) $x_M^{SO2} = 12,3*35$	М	430
24	Коэффициент s_1 для расстояния x по формуле (2,23a), (2,23б) или по рис. 2,4) $x = 50$ м, $x/x_M = 0.116$ $x = 100$ м, $x/x_M = 0.256$ $x = 200$ м, $x/x_M = 0.465$ $x = 400$ м, $x/x_M = 0.93$ $x = 1000$ м, $x/x_M = 2.32$ $x = 3000$ м, $x/x_M = 6.97$	-	0,069 0,232 0,633 1 0,664 0,154
25	Концентрации c^{SO2} на расстоянии х по формуле (2.22) x = 50 м, $c = 0.19*0,069x = 100$ м, $c = 0,19*0,232x = 200$ м, $c = 0,19*0,633x = 400$ м, $c = 0,19*1x = 1000$ м, $c = 0,19*0,664x = 3000$ м, $c = 0,19*0,154$	МГ/М ³ МГ/М ³ МГ/М ³ МГ/М ³ МГ/М ³	0,01 0,04 0,12 0,19 0,13 0,03

Самостоятельная работа студентов.

Темы дисциплин, предназначенные для самостоятельного изучения студентами, помечены в разделе «Содержание учебной дисциплины» звездочкой.

Аттестация по учебной дисциплине.

Аттестация по дисциплине учебным планом предусмотрена в виде экзамена для студентов, обучающихся как по очной, так и по заочной форме обучения. Аттестация проводится в устной форме лектором-преподавателем, проводившим обучение по данной дисциплине. Критерии оценки уровня подготовки студента являются:

- уровень освоения студентами материала, предусмотренного учебной программой;
- умение использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- обоснованность, четкость, краткость изложения ответа на вопрос.

Примерный перечень экзаменационных вопросов:

- 28. Каковы источники загрязнения атмосферы?
- 29. Приведите классификацию источников атмосферного загрязнения.
- 30. Охарактеризуйте источники производственных загрязнений воздушного пространства. Основные термины и определения.
- 31. Приведите классификацию методов и аппаратов для очистки и обезвреживания газовых выбросов.
- 32. Дайте характеристику основных свойств пылей.
- 33. Дайте характеристику эффективности работы газоочистного аппарата.
- 34. Какие аппараты применяют для сухой очистки газов от пылей? Укажите их достоинства недостатки, эффективность и требования к газоочистным аппаратам в период испытаний.
- 35. Пылеосадочные камеры.
- 36. Инерционные и жалюзийные пылеуловители.
- 37. Циклон одиночный.
- 38. Групповые и батарейные циклоны.
- 39. Какие пористые перегородки используют в фильтрах для очистки газов и каковы принципы их выбора?
- 40. Условная классификация фильтров по классам. Требования к фильтрам в период испытания и наладки.
- 41. Тканевые фильтры.
- 42. Керамический фильтр.
- 43. Какие аппараты применяют для мокрой очистки газов? Укажите их достоинства, недостатки и общие требования к аппаратам мокрой очистки в период испытания и наладки.
- 44. Полые, насадочные газопромыватели.
- 45. Тарельчатые газопромыватели. Для какой цели устанавливают стабилизатор пенного слоя на решетках пенных аппаратов?
- 46. Газопромыватели ударно-инерционного действия.
- 47. Газопромыватели центробежного действия.
- 48. Скрубберы Вентури.
- 49. Как устроены и для каких целей используют электрофильтры..
- 50. Какие аппараты применяют для улавливания туманов.
- 51. Назовите возможные пути рекуперации промышленных пылей.

- 52. Охарактеризуйте физико-химические основы, технологические схемы, достоинства и недостатки очистки газов от диоксида сыры известняковым и известняковыми метолами.
- 53. Приведите физико-химические основы очистки газов от диоксида серы сульфитбисульфит натриевым способом («Wellman-Lord»).
- 54. Назовите абсорбенты для очистки газов от сероводорода- H_2S . Обсудите химизм процессов, их достоинства и недостатки.
- 55. Сопоставьте щелочные методы очистки газов от оксидов азота и охарактеризуйте последствия загрязнения атмосферы этими веществами.
- 56. Охарактеризуйте метод одновременной очистки газов от диоксида серы- SO_2 и оксидов азота- NO_x .
- 57. Очистка газов от галогенов и их соединений.
- 58. Очистка газов от хлора и его соединений.
- 59. Очистка газов от брома и его соединений.
- 60. В чем состоит существо медно-аммиачной очистки от оксида углерода -СО?
- 61. Теоретическая основа адсорбции. Назовите основные типы промышленных адсорбентов.
- 62. Какие задачи газоочистки можно решать с использованием активных углей, силикагелей, алюмогелей, цеолитов, оинитов?
- 63. Десорбция поглощенных примесей.
- 64. Адсорбция паров ЛОС.
- 65. Адсорбционная очистка газов от оксидов азота.
- 66. Адсорбционная очистка газов от диоксидов серы.
- 67. Очистка газов от паров ртути.
- 68. Теоретические основы каталитических процессов газоочистки.
- 69. Назовите методы каталитической очистки газов от оксидов азота и охарактеризуйте их показатели.
- 70. На каких принципах основаны предложенные технологии каталитической очистки отходящих газов от диоксида серы?
- 71. Поясните, в каких случаях практикуют каталитическую очистку газовых выбросов от органических загрязнений?
- 72. Каталитическая очистка газов от оксида углерода.
- 73. Назовите условия, характеризующие рациональность практической реализации высокотемпературного обезвреживания газовых выбросов.
- 74. Приведите классификацию водной среды.
- 75. Объясните, как изменяется качество воды под влиянием хозяйственной деятельности людей?
- 76. Свойства и классификация вод.
- 77. Какие имеются схемы оборотного водоснабжения предприятий и какими показателями оцениваются эффективность использования в них воды?
- 78. Что такое сточные воды и какие имеются пути уменьшения их образования?
- 79. Что такое замкнутые системы водного хозяйства промышленного предприятия?
- 80. Какие методы чистки сточных вод используются в промышленности и какова их эффективность обезвреживания?
- 81. Каковы источники возникновения твердых отходов в материальном производстве?

16Курс лекций по дисциплине Процессы и аппараты защиты окружающей среды

Приемы устранения загрязнения атмосферного воздуха; аппаратура, технологические схемы и установки очистки отходящих газов от вредных и ценных компонентов (пыли, сернистого ангидрида и серосодержащих соединений, оксидов азота, галогенов и соединений, ИХ диоксида углерода, летучих органических соединений, паров ртути); приемы, технологические схемы установки очистки сточных вод от нефтепродуктов, фосфорсодержащих соединений, ПАВ, тяжелых металлов, радионуклидов и других полютантов механическими, химическими, физико-химическими, биохимическими и термическими методами; оборотного водоснабжения; организация систем технологии рекуперации твердых промышленных и бытовых отходов.

Модуль 1

І. Процессы защиты атмосферы

Современная научно-техническая революция характеризуется бурным развитием промышленности, производства электроэнергии и расширением сферы использования транспорта всех видов. Эти процессы, а также сопровождающая их урбанизация обуславливают возрастающее загрязнение внешней среды, которое достигло такого уровня, что превратилось в одну из важнейших проблем. Решение ее преследует цель — не только сохранить природные ресурсы для дальнейшего экономического и социального развития страны, но прежде всего обеспечить благоприятные санитарные условия жизни населения и предупредить возможное вредное влияние загрязнений внешней среды на здоровье людей.

В атмосферном воздухе под действием внешних и внутренних факторов постоянно протекают гидродинамические, тепловые, электромагнитные, химические и фотохимические процессы, от которых зависят температура, давление, скорость перемещения и химический состав воздуха.

Необходимость изучения химического атмосферного воздуха вызвана тем, что зная природный состав его, легко установить присутствие посторонних примесей и рассматривать их как ингредиенты, загрязняющие атмосферу.

Природный химический состав атмосферного воздуха (в пересчете на сухой воздух) приведен ниже, % (об.):

Азот......78,084

Кислород......20,9476

Аргон......0,934

Диоксид углерода......3,14 * 10⁻²

Атмосферный воздух никогда не бывает абсолютно чистым. Общее количество загрязнений, находящихся постоянно в атмосферном воздухе над планетой, составляет примерно 10 млн. т, что обусловлено как производственной деятельностью человека, так и естественными процессами, протекающими в природе.

Единой классификации источников загрязнения ни в отечественной, ни в зарубежной литературе нет. Имеются предположения классифицировать по отраслевому признаку и по группам предприятий. Но наиболее перспективна классификация, приведенная на рис.1

Естественное загрязнение атмосферы происходит в результате пыльных бурь, вулканической деятельности, лесных пожаров и т.д.

Источником загрязнения воздуха служит и мировой океан. Мельчайшие брызги воды, поднимаясь над поверхностью моря или океана, довольно быстро испаряются, а растворенные в них соли кальция, магния, натрия, калия и других веществ попадают в атмосферу.

При извержении вулканов в атмосферу вместе с газообразными продуктами выбрасывается большое количество пепла. В состав вулканических газов входят HCl, HF, NH $_3$, Cl, CO, CO $_2$, H $_2$ S и др. В атмосферный воздух попадает также космическая пыль из межпланетного пространства.

Искусственное загрязнение атмосферы происходит в результате практической деятельности человека.

До 70% всех загрязнений приходится на долю автомобильного транспорта. Автомобильные выхлопные газы представляют собой смесь примерно 200 веществ. В них содержатся углеводороды, оксид углерода, оксиды азота,

альдегиды, обладающие резким запахом и раздражающим действием, и др. Вследствие неполного сгорания в двигателе автомашины часть углеводородов превращается в сажу и в смолистые вещества. Особенно много сажи и смол образуется при технической неисправности мотора в моменты, когда водитель, форсируя работу двигателя, уменьшает соотношение воздуха и горючего, стремясь получить так называемую «богатую смесь».

Практически во всех отраслях промышленности имеются выбросы вредных веществ в атмосферный воздух. В атмосферу попадают аэрозольные частицы, газообразные вещества и пары (оксиды углерода, серы, азота, сероводород, углеводороды, кислоты, щелочи, нитриты, нитраты, соединения свинца, железа, фтора, неприятно пахнущие вещества, радиоактивные вещества и др.).

Рис. 1 Классификация источников загрязнения воздуха.

	Внеземное (космическая пыль)			
Естественное				выветриван
	Земное		неорганическо	ие
	Земное	континентальное	C	вулканизм
		Rolling	органическое	растения
				животные
			Добыча	-
		урановая руда	Транспортиро	
	Радиоактивно		вка Переработка	-
	е	эксплуатация	Перераоотка	J
		реакторов		
		атомные взрывы	-	
		производство	-	
		электроэнергии		
		химическая и		
		нефтеперерабат.		
		Промышленность.	_	
		металлургическая		
	Промышленн	промышленность	<u> </u>	
	ые предприятия	Пром.		
		строительных		
		материалов	-	
		машиностроительн ая пром.		
Искусственно		горнодобывающая	-	
e		промышленность		
		строительство		
		прочие		
		автомобильный		
	Транспорт	железнодорожный		
		водный	_	
		воздушный	_	
	Бытовое и	индивидуальные		
	коммунально	печи	_	
	е хозяйство	сжигание, гниение отходов		
	Сельское и	животноводство, птицеводство		
	лесное	применение	-	
	хозяйства	продуктов химии		
		предприятия	1	
		сельского и		
		лесного хозяйств		

Атмосферные загрязнения не имеют никаких границ. Испытание ядерного оружия в одной стране вызывает увеличение радиоактивного заражения воздуха в ряде других стран, расположенных от нее на значительном расстоянии и даже на другом континенте. Известно, что пыль может переноситься на расстояние более 6000 км, дальность распространения выбросов промышленных предприятий достигает сотен километров. От загрязнения страдают не только страны – «производители» загрязнения, но и страны – соседи. Например, загрязненный воздух с территории США нередко оказывается на территории Норвегии, Швеции, Дании.

Наиболее существенными источниками поступления вредных веществ в атмосферу в сельском хозяйстве являются предприятия по производству всех видов удобрений и ядохимикатов. Кроме того, в сельских районах источниками загрязнения являются воздуха животноводческие птицеводческие фермы, промышленные комплексы по производству и переработке мяса, предприятия ПО эксплуатации сельхозтехники, энергетические установки. В И теплосиловые местах значительного содержания скота и птицы в атмосферу могут поступать и распространяться на значительное расстояние такие вещества, как аммиак, сероводород и другие вредные газы. К источникам загрязнения атмосферного воздуха относятся также поля, на которые вносятся высокотоксичные пестициды, и склады, в которых они хранятся, и происходит протравливание ими семян.

Искусственное загрязнение воздушного бассейна существенно изменяет природный состав атмосферного воздуха.

В результате загрязнения атмосферы изменяются климатические и микроклиматические условия. В загрязненной атмосфере снижается солнечная радиация: видимая ее составляющая – до 50 %, прямая радиация – до 15 % по сравнению с радиацией при незагрязненной атмосфере. Ультрафиолетовая радиация уменьшается на 30 %, а, как известно, она характеризуется антибактерицидным действием. Микроклиматические изменения, происходящие в городах и индустриальных центрах, характеризуются увеличением средней температуры воздуха на 2-9°С, уменьшением видимости, увеличением осадков и облачности, изменением циркуляции воздуха.

Одним из следствий техногенного влияния на окружающую среду (ОС) в ряде стран в настоящее время является заметное ухудшение состояния атмосферного воздуха. Наиболее крупнотоннажные (млн. т. в год) глобальные загрязнения атмосферы образуют CO_2 (2*10⁴), пыль (250), CO (200), SO, (150), углеводороды (>50), NO_x (50). Номенклатура загрязнений весьма широка и включает, помимо названных, сероводород, сероуглерод, аммиак, галогены и их производные, сажу, оксиды металлов, различные соли и другие соединения.

Источники производственных загрязнений воздушного пространства разделяют:

- а) по назначению *технологические*, содержащие хвостовые газы рекуперационных, абсорбционных, адсорбционных и других улавливающих установок, а также продувочные газы из аппаратов, устройств и установок (для этих источников характерны высокие концентрации вредных веществ и сравнительно малые объемы удаляемого воздуха); *вентиляционные* (местные отсосы от оборудования и общеобменная вытяжка);
- б) по месту расположения незатененные или высокие, находящиеся в зоне недеформированного потока (высокие трубы, а также точечные источники, удаляющие загрязнения на высоту, превышающую в 2,5 раза высоту производственного здания); затененные или низкие, расположенные над зданием на меньшей высоте; наземные, находящиеся вблизи земной поверхности (открыто расположенное технологическое оборудование, колодцы промканализации, пролитые токсичные вещества, открыто хранящиеся отходы производства);
- в) по геометрической форме *точечные* (трубы, шахты, крышные вентиляторы) и *линейные* (аэроционные фонари, открытые окна, близко размещенные вытяжки шахты и факелы);
- г) по режиму работы *непрерывного* и *периодического действия, мгновенные* и *залповые*, при которых за короткий промежуток времени в воздух удаляется большое количество вредных веществ (возможны при авариях и сжигании быстрогорящих отходов производства на специальных площадках для их уничтожения).

Все промышленные выбросы в атмосферу классифицируют по агрегатному состоянию (газообразные, жидкие, твердые и смешанные):

-по характеру организации отвода и контроля (организованные и неорганизованные), по режиму отвода (непрерывные и периодические);

-по температурному потенциалу – нагретые (температура выбросов превышает температуру воздуха) и холодные;

-по локализации (в основном, вспомогательном, подсобном производстве);

-по признакам очистки – удаляемые без нее (организованные и неорганизованные) и после нее (организованные).

Различают также первичные выбросы, поступающие в атмосферу непосредственно от источников загрязнения, и вторичные выбросы, которые, являясь продуктами превращений первичных выбросов, могут быть более токсичны и опасны.

Под очисткой газового потока понимают отделение от него или превращение в безвредную форму загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу вместе с газовым потоком. Воздушными массами загрязнения могут переноситься на большие расстояния и существо влиять на состояние атмосферы и здоровье человека.

В частности, происходящее с интенсивностью 0,4 % в год накопление в атмосфере СО₂ вследствие поглощения им ИК-излучения солнца может глобальное повышение температуры («парниковый» Трансформация в атмосфере SO₂. NO_x и других аналогичных природы выбросов может завершаться образованием кислотных туманов и выпадением кислотных дождей (снегов), вызывающих коррозию многих неорганических материалов (объектов), а также угнетение и уничтожение различных объектов флоры и фауны. Находящиеся в атмосферном воздухе аэрозоли (пыли, дымы, туманы) задерживают падающую на поверхность Земли солнечную радиацию, способствуя похолоданию на планете. Оседающая же на поверхности ледников пыль ускоряет их таяние вследствие более интенсивного поглощения солнечной энергии. Атмосферные аэрозоли вследствие их более или менее длительной седиментации обуславливают загрязнение токсичными веществами поверхностных и подземных вод, а также почвы.

Эти обстоятельства обуславливают жесткие требования, предъявляемые к производственным выбросам в атмосферу и содержанию загрязнений в атмосферном воздухе. Выполнение ЭТИХ требований контролируется службами a специальными предприятий, также ведомственных И государственных органов путем, в частности, установления соответствия измеряемых показателей регламентируемых величинам ПДК и ПДВ.

Действующие на территории России ПДК (в мг/м³) в воздухе ряда токсичных веществ характеризуются следующими величинами:

Вещество	HF	Cl_2	NH ₃	CS_2	H_2S	SO_2	NO_x
ПДК _{р.з.}	0,5	1	20	10	10	10	5
ПДК _{м.р.}	0,02	0,1	0,2	0,03	0,008	0,03	0,085
ПДКс.с.	0,005	0,03	0,2	0,005	0,008		0,085
Вещество	CO	HC1	Hg	SiF ₄	HCN	O_3	C
			_				(сажа)
ПДК _{р.з.}	20	5	0,01	-	0,3	0,1	3,5
ПДК _{м.р.}	3	0,015	_	0,02	-	-	0,15
ПДКс.с.	1	0,015	0,0003	0,005	0,01	-	0,05

В зависимости от значения ПДК вещества в воздухе классифицируют по степени опасности. При одновременном присутствии в атмосфере k вредных веществ (с концентрациями C_1 , C_2 ,..... C_k) однонаправленного действия, их безразмерная суммарная концентрация не должна превышать единицы:

$$C_{\text{сум}} = C_1 + C_2 + C_{\kappa}$$

$$\Pi \Pi K_1 \qquad \Pi \Pi K_2 \qquad \Pi \Pi K_{\kappa}$$

Предельно допустимый выброс для нагретых загрязнений определяют по формуле:

При этом концентрация вредного вещества в отходящем газе около устья источника загрязнения (например, дымовой трубы) должна быть не более некоторой максимальной концентрации, вычисляемой по формуле:

$$C_{\text{M,Tp}}^{\text{H}} = \frac{\Pi \Pi K \cdot H^{2}}{\sqrt{\Delta T / V_{1}^{2}}}$$

$$A_{1} \cdot F \cdot m \cdot n$$

Для холодных выбросов расчет проводят по формулам:

$$\Pi \mathcal{I} B^{x} = 8\Pi \mathcal{I} K \cdot H^{3} \sqrt{HV_{1}}$$

$$A_{2} \cdot F \cdot n \cdot D$$

$$C_{M, Tp}^{x} = 8\Pi \underline{\Pi} \underline{K} \cdot \underline{H}^{3} \sqrt{\underline{H}}$$

$$A_{2} \cdot \underline{F} \cdot \underline{n} \cdot \underline{D}$$

В этих формулах H — высота дымовой трубы, м; V_1 — объемный расход газовоздушной смеси, M^3/C ; Δ T — разность между температурами выбрасываемой смеси и атмосферного воздуха; A_1 , A_2 — коэффициенты, зависящие от условий вертикального и горизонтального рассеиваний вредных веществ в воздухе, значения которых составляют 120-240;

F — безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания в воздухе вредных веществ (для газов F=1); m, n — коэффициенты, учитывающие условия выхода газов из источника загрязнений; D — диаметр устья трубы, m.

Наиболее известные методы и технологии обезвреживания и очистки производственных газовых выбросов, содержащих широко распространенные в практике загрязнения, охарактеризованы ниже.

Глава 1. Методы очистки и обезвреживания отходящих газов.

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются промышленные предприятия, транспорт, тепловые электростанции, животноводческие комплексы. Каждый из этих источников связан с выделением большого количества специфических, токсичных веществ, иногда не поддающихся сразу идентификации, хотя номенклатура многотоннажных загрязнений сравнительно мала.

Загрязнения в атмосферу могут поступать из источников непрерывно или периодически, залпами или мгновенно. В случае залповых выбросов за короткий промежуток времени в воздух выделяется большое количество вредных веществ. Залповые выбросы возможны при авариях, при сжигании быстрогорящих отходов производства на специальных площадках уничтожения. При мгновенных выбросах загрязнения выбрасываются в доли секунды иногда на значительную высоту. Они происходят при взрывных работах и авариях.

Таким образом, с отходящими газами в атмосферу поступают твердые, жидкие, паро- и газообразные неорганические и органические вещества, поэтому по агрегатному состоянию загрязнения подразделяют на твердые, жидкие, газообразные и смешанные.

Отходящие газы промышленности, содержащие взвешенные твердые или жидкие частицы, представляют собой двухфазные системы. Сплошной фазой в системе являются газы, а дисперсной — твердые частицы или капельки жидкости. Также аэродисперсные системы называют аэрозолями, которые разделяют на пыли, дымы и туманы. Пыли содержат твердые частицы размером от 0,5 до 50 мкм, а дымы — 0,1 до 5 мкм. Туманы состоят из капелек жидкости размером 0,3 — 5 мкм и образуются в результате конденсации паров или при распылении жидкости в газе.

Газовые выбросы классифицируют также по организации отвода и контроль:

– на организованные и неорганизованные;

По температуре:

- нагретые (температура газопылевой смеси выше температуры воздуха) и *холодные*;

По признакам очистки:

– на *выбрасываемые без очистки* (организованные и неорганизованные) и *после очистки* (организованные).

Организованный промышленный выброс — это выброс, поступающий в атмосферу через специально сооруженные газоходы, воздуховоды, трубы, а неорганизованным выбросом называют промышленный выброс, поступающий в атмосферу в виде ненаправленных потоков газа в результате нарушения

герметичности оборудования, отсутствия или неудовлетворительной работы оборудования по отсосу газа в местах загрузки, выгрузки и хранения продукта.

Для снижения загрязнения атмосферы от промышленных выбросов совершенствуют технологические процессы, осуществляют герметизацию технологического оборудования, применяют пневмотранспорт, строят различные очистные сооружения.

Наиболее эффективным направлением снижения выбросов является создание безотходных технологических процессов, предусматривающих, например, внедрение замкнутых газообразных потоков, однако до настоящего времени основным средством предотвращения вредных выбросов остается разработка и внедрение эффективных систем очистки газов. При этом под очисткой газа понимают отделение от газа или превращение в безвредное состояние загрязняющего вещества, поступающего от промышленного источника.

Классификация методов и аппаратов для обезвреживания газовых выбросов от различных примесей приведена на рис. 2. Эта классификация является приближенной. Она не охватывает всех существующих методов и тем более аппаратов для газоочистки.

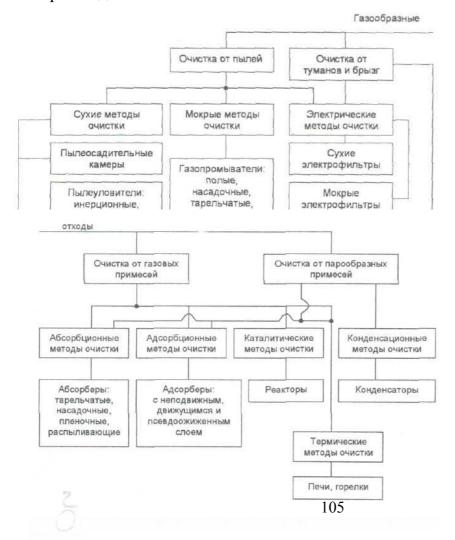


Рис. 2 Классификация методов и аппаратов для обезвреживания газовых выбросов

Для обезвреживания отходящих газов от газообразных и парообразных токсичных веществ применяют следующие методы абсорбции (физической и хемосорбции), адсорбции, каталитические, термические, конденсации и компримирования.

Абсорбционные методы очистки отходящих газов подразделяют по следующим признакам:

- 1) по абсорбируемому компоненту;
- 2) по типу применяемого абсорбента;
- 3) по характеру процесса с циркуляцией и без циркуляции газа;
- 4) по использованию абсорбента с регенерацией и возвращением его в цикл (циклические) и без регенерации (не циклические);
- 5) по использованию улавливаемых компонентов с рекуперацией и без рекуперации;
- 6) по типу рекуперируемого продукта;
- 7) по организации процесса периодические и непрерывные;
- 8) по конструктивным типам абсорбционной аппаратуры.

Для физической абсорбции на практике применяют воду, органические растворители, не вступающие в реакцию с извлекаемым газом, и водные растворы этих веществ. При хемосорбции в качестве абсорбента используют водные растворы солей и щелочей, органические вещества и водные суспензии различных веществ. Выбор метода очистки зависит от многих факторов: концентрации извлекаемого компонента в отходящих газах, объема и температуры газа, содержания примесей, наличия хемосорбентов, возможности использования продуктов рекуперации, требуемой степени очистки. Выбор производят на основании результатов технико-экономических расчетов.

Адсорбционные методы очистки газов используют для удаления из них газообразных и парообразных примесей. Методы основаны на поглощении примесей пористыми телами – адсорбентами. Процессы очистки проводят в периодических или непрерывных адсорберах. Достоинством методов является

высокая степень очистки, а недостатком – невозможность очистки запыленных газов.

Каталитические методы очистки основаны на химических превращениях токсичных нетоксичные компонентов В на поверхности твердых катализаторов. Очистке подвергаются газы, не содержащие ПЫЛИ катализаторных ядов. Методы используются для очистки газов от оксидов азота, серы, углерода и от органических примесей. Их проводят в реакторах различной конструкции.

В рекуперационной технике наряду с другими методами для улавливания паров летучих растворителей используют методы конденсации и компримирования.

В основе метода конденсации лежит явление уменьшения давления насыщенного пара растворителя при понижении температуры. Смесь паров растворителя с воздухом предварительно охлаждают в теплообменнике, а затем конденсируют. Достоинствами метода являются простота аппаратурного оформления и эксплуатации рекуперационной установки. Однако проведению процесса очистки паровоздушных смесей методом конденсации сильно осложнено, поскольку содержание паров летучих растворителей в этих смесях обычно превышает нижний предел их взрываемости. К недостаткам метода относятся высокие расходы холодильного агента и электроэнергии и низкий процент конденсации паров (выход) растворителей (обычно не превышает 70-90%). Метод конденсации является рентабельным лишь при содержании паров растворителя в подвергаемом очистке потоке ≥100 г/м³, что существенно ограничивает область применения установок конденсационного типа.

Метод компримирования базируется на том же явлении, что и метод конденсации, но применительно к парам растворителей, находящимся под избыточным давлением. Однако метод компримирования более сложен в аппаратурном оформлении, так как в схеме улавливания паров растворителей необходим компримирующий агрегат. Кроме того, он

сохраняет все недостатки, присущие методу конденсации, и не обеспечивает возможность улавливания паров летучих растворителей при их низких концентрациях.

Термические методы (методы прямого сжигания) применяют для обезвреживания газов от легкоокисляемых токсичных, а также дурнопахнущих примесей. Методы основаны на сжигании горючих примесей в топках печей или факельных горелках. Преимуществом метода является простота аппаратуры, универсальность использования. Недостатки: дополнительный расход топлива при сжигании низкоконцентрованных газов, а также необходимость дополнительной абсорбционной или адсорбционной очистки газов после сжигания.

Следует отметить, что сложный химический состав выбросов и высокие концентрации токсичных компонентов заранее предопределяют многоступенчатые схемы очистки, представляющие собой комбинацию разных методов.

Вопросы для повторения

- 1. Каковы источники загрязнения атмосферы?
- 2. Охарактеризуйте атмосферные загрязнения.
- 3. Приведите классификацию методов и аппаратов для очистки и обезвреживания газовых выбросов.

Глава 2. Очистка отходящих газов от аэрозолей

2.1. Основные свойства пылей и эффективность их улавливания

Плотность частиц. Различают истинную, насыпную и кажущуюся плотность. Насыпная плотность (в отличие от истинной) учитывает воздушную прослойку между частицами пыли. При слеживании насыпная плотность возрастает в 1,2-1,5 раза.

Кажущаяся плотность представляет собой отношение массы частиц к занимаемому ею объему, включая поры, пустоты и неровности. Гладкие монолитные частицы имеют плотность, практически совпадающую с

истинной. Пыли, склонные к коагулированию и спеканию, снижают кажущуюся плотность по отношению к истинной.

Дисперсность частиц. Размер частицы является основным ее параметром. Выбор пылеуловителя определяется дисперсным составом улавливаемой пыли.

Частицы промышленной пыли имеют различную форму (*шарики, палочки, пластинки, иглы, чешуйки, волокна и т.д.). Частицы пыли могут коагурироваться и объединяться в агломераты, поэтому понятие размера частицы условно. В пылеулавливании принято характеризовать размер частицы величиной, определяющей скорость ее осаждения. Такой величиной служит седиментационный диаметр — диаметр шара, скорость осаждения и плотность которого равны скорости осаждения и плотности частицы. При этом сама частица может иметь произвольную форму. Пылевые частицы различной формы при одной и той же массе оседают с разной скоростью. Чем ближе их форма к сферической, тем быстрее они оседают.

Адгезионные свойства частиц. Эти свойства частиц определяют их склонность к слипаемости. Повышенная слипаемость частиц может привести к частичному или полному забиванию аппарата. Пыли, у которых 60-70% частиц имеют диаметр меньше 10 мкм, ведут себя как слипающиеся, хотя те же пыли с размером частиц более 10 мкм обладают хорошей сыпучестью.

По слипаемости пыли делятся на 4 группы:

Характеристика пыли	Вид пыли		
Слабослипающаяся	Сухая шлаковая, кварцевая; сухая		
	глина		
Неслипающаяся	Коксовая; магнезитовая сухая;		
	доменная; колошниковая летучая		
	зола, содержащая много несгоревших		
	продуктов; сланцевая зола		
Среднеслипающаяся	Торфяная, влажная		
	магнетизированная; металлическая,		
	содержащая колчедан, оксиды		
	свинца, цинка и олова, сухой цемент; летучая зола без недожига; торфяная		
	зола; сажа, сухое молоко; мука,		
	опилки.		
Сильнослипающаяся	Цементная; выделенная из влажного		

воздуха; гипсовая и алебастровая;
содержащая нитрофоску, двойной
суперфосфат, клинкер, соли натрия;
волокнистая (асбест, хлопок, шерсть)

Со слипаемостью тесно связана другая характеристика пыли – ее сыпучесть. Сыпучесть пыли оценивается по углу естественного откоса, который принимает пыль в свеженасыпанном состоянии.

Абразивность частиц. Абразивность пыли характеризует интенсивность износа металла при одинаковых скоростях газов и концентрациях пыли. Она зависит от твердости, формы, размера и плотности частиц. Абразивность учитывают при расчетах аппаратуры (выбор скорости газа, толщины стенок аппаратуры и облицовочных материалов).

Смачиваемость частиц. Смачиваемость частиц водой оказывает влияние на эффективность мокрых пылеуловителей, особенно при работе с рециркуляцией. Гладкие частицы смачиваются лучше, чем частицы с неровной поверхностью, так как последние в большей степени оказываются покрытыми абсорбированной газовой оболочкой, затрудняющей смачивание.

По характеру смачивания все твердые тела разделяют на три основные группы:

- 1) *гидрофильные материалы* хорошо смачиваемые: кальций, кварц, большинство силикатов и окисленных минералов, галогениды щелочных металлов;
- 2) гидрофобные материалы плохо смачиваемые: графит, уголь, сера;
- 3) абсолютно гидрофобные парафин, тефлон, битумы.

Гигроскопичность частиц. Способность пыли впитывать влагу зависит от химического состава, размера, формы и степени шероховатости поверхности частиц. Гигроскопичность способствует их улавливанию в аппаратах мокрого типа.

Электрическая проводимость слоя пыли. Этот показатель оценивается по удельному электрическому сопротивлению слоя пыли рсл, которое зависит от свойств отдельных частиц (от поверхностной и внутренней электропроводимости, формы и размеров частиц), а также от структуры слоя и

параметров газового потока. Оно оказывает существенное влияние на работу электрофильтров.

Электрическая заряженность частиц. Знак заряда частиц зависит от способа их образования, химического состава, а также от свойств веществ, с которыми они соприкасаются. Этот показатель оказывает влияние на эффективность улавливания в газоочистных аппаратах (мокрых пылеуловителях, фильтрах и др.), на взрывоопасность и адгезионные свойства частиц.

Способность частиц пыли к самовозгоранию и образованию взрывоопасных смесей с воздухом. Горючая пыль вследствие сильноразвитой поверхности контакта частиц (порядка 1 м²/г) с кислородом воздуха способна к самовозгоранию и образованию взрывоопасных смесей и воздухом. Интенсивность взрыва пыли зависит от ее химических и термических свойств, от размеров и формы частиц, их концентрации в воздухе, от влагосодержания и состава газов, размеров и температуры источника воспламенения и относительного содержания инертной пыли. Способностью к воспламенению обладают некоторые пыли органических веществ, образующиеся при переработке красителей, пластмасс, волокон, а также пыли металлов: магния, алюминия и цинка.

Минимальные взрывоопасные концентрации взвешенной в воздухе пыли – примерно

20-500 г/м³, максимальные – 700-800 г/м³. Чем больше содержание кислорода в газовой смеси, тем вероятнее взрыв и больше его сила. При содержании кислорода менее 16% пылевое облако не взрывается.

Эффективность улавливания. Степень очистки (коэффициент полезного действия) выражается отношением количества уловленного материала к количеству материала, поступившего в газочистительный аппарат с газовым потоком за определенный период времени. Эффективность очистки h определяют по формуле:

где Gч ′, Gч′′ - массовый расход частиц пыли, содержащейся в газах, соответственно поступающих и выходящих из аппаратов, кг/с; V г ′, Vг ′′ - объемный расход газов (при 0°С и 101,3 кПа), соответственно поступающих и выходящих из аппаратов, м³/с; с′, с′′ - концентрация частиц в газах, соответственно поступающих в аппарат и выходящих из аппарата, кг/м³; Gч ′′′ - количество уловленной пыли, кг/с.

Если объем газов в процессе очистки изменяется, например, за счет подсоса, то эффективность:

$$\eta = 1 - K \pi c'' / c',$$

где К п – коэффициент подсоса.

Известно, что эффективность очистки для частиц пыли разных размеров неодинакова. Так как лучше улавливается крупная пыль, то коэффициент очистки газов часто определяют по фракционной эффективности — степени очистки газов от частиц определенного размера.

Фракционная эффективность:

$$\eta \Phi = [\Phi' - \Phi''(1-\eta)] / \Phi',$$

где Φ' , Φ'' — содержание фракций в газах соответственно на входе и выходе аппарата, %.

Зная фракционную эффективность аппарата:

$$\eta = \eta \phi 1\Phi 1 : 100 + \eta \phi 2\Phi 2 : 100 + \eta \phi n\Phi n : 100$$

Эффективность улавливания пыли может быть выражена в виде коэффициента проскока частиц (степени неполноты улавливания), который представляет собой отношение концентрации частиц за аппаратом к их концентрации перед ним. Его используют, когда надо оценить конечную запыленность или сравнить относительную запыленность газов на выходе из различных аппаратов. Коэффициент проскока Кпр рассчитывают по формуле:

$$K\pi p = 1 - \eta$$
.

Суммарную степень очистки газов η , достигаемую в нескольких последовательно установленных аппаратах, рассчитывают по формуле:

$$\eta = 1-(1-\eta 1)(1-\eta 2)...(1-\eta n),$$

где η 1, η 2, ..., η n - степень очистки газов от пыли соответственно в первом, втором и n-м аппарате.

2.2. Очистка газов в сухих механических пылеуловителях.

К сухим механическим пылеуловителям относят аппараты, в которых использованы различные механизмы осаждения: гравитационный (пылеосадительные камеры), инерционный (камеры, осаждение пыли в которых происходит в результате изменения направления движения газового потока или установки на его пути препятствия) и центробежный (одиночные, групповые и батарейные циклоны, вихревые и динамические пылеуловители). Перечисленные аппараты отличаются простотой изготовления и эксплуатации, их достаточно широко используют в промышленности. Однако эффективность улавливания в них пыли на всегда оказывается достаточной, в связи с чем они аппаратов часто выполняют роль предварительной очистки газов. Пылеосадительная камера показана на рис. 3

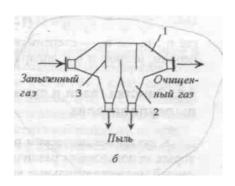


Рис. 3 Пылеосадительная камера с перегородками: 1 – корпус; 2 – бункеры; 3 – перегородка.

Инерционные пылеуловители. При резком изменении направления движения газового потока частицы пыли под воздействием инерционной силы будут стремиться двигаться в прежнем направлении и после поворота потоков газов выпадают в бункер. Эффективность этих аппаратов небольшая.

Жалюзийные аппараты. Эти аппараты имеют жалюзийную решетку, состоящую из рядов пластин или колец. Очищаемый газ, проходя через решетку, делает резкие повороты. Пылевые частицы вследствие инерции стремятся сохранить первоначальное направление, что приводит к отделению крупных частиц из газового потока, тому же способствуют их удары о наклонные плоскости решетки, от которых они отражаются и отскакивают в сторону от щелей между лопастями жалюзи. В результате газы делятся на два потока. Пыль в основном содержится в потоке, который отсасывают и направляют в циклон, где его очищают от пыли и вновь сливают с основной частью потока, прошедшего через решетку. Скорость газа перед жалюзийной решеткой должна быть достаточно высокой (до 15 м/с), чтобы достигнуть эффекта инерционного отделения пыли. На степень очистки влияет также скорость движения газов, отсасываемых В циклон. Гидравлическое сопротивление решетки составляет 100-500 Па.

Обычно жалюзийные пылеуловители применяют для улавливания пыли с размером частиц >20 мкм. Недостаток решеток – износ пластин при высокой концентрации пыли.

Эффективность улавливания частиц зависит от эффективности самой решетки и эффективности циклона, а также от доли отсасываемого в нем газа.

Циклоны. Циклонные аппараты наиболее распространены в промышленности. Они имеют следующие достоинства:

- 1) отсутствие движущихся частей в аппарате;
- 2) надежность работы при температурах газов вплоть до 500 °C (для работы при более высоких температурах циклоны изготовляют из специальных материалов);
- 3) возможность улавливания абразивных материалов при защите внутренних поверхностей циклонов специальными покрытиями;
- 4) улавливание пыли в сухом виде;

- 5) почти постоянное гидравлическое сопротивление аппарата;
- 6) успешная работа при высоких давлениях газов;
- 7) простота изготовления;
- 8) сохранение высокой фракционной эффективности очистки при увеличении запыленности газов.

Недостатки:

- 1) высокое гидравлическое сопротивление 1250-1500 Па;
- 2) плохое улавливание частиц размером >5 мкм;
- 3) невозможность использования для очистки газов от липких загрязнений.

Принцип работы циклона таков, газ вращается внутри циклона, двигаясь сверху вниз, а затем движется вверх. Частицы пыли отбрасываются центробежной силой к стенке. Обычно в циклонах центробежное ускорение в несколько сот, а то и 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.

Эффективность улавливания частиц пыли в циклоне h прямо пропорциональна скорости газов в степени $\frac{1}{2}$ и обратно пропорциональна диаметру аппарата также в степени $\frac{1}{2}$.

В промышленности принято разделять циклоны на высокоэффективные и высокопроизводительные. Первые эффективны, но требуют больших затрат на осуществление процесса очистки; второго типа небольшое гидравлическое сопротивление, но хуже улавливают мелкие частицы.

На практике широко используют циклоны НИИогаза — цилиндрические (с удлиненной частью). Цилиндрические относятся к высокопроизводительным аппаратам, а конические — к высокоэффективным. Диаметр цилиндрических циклонов не более 2000 мм, а конических — не более 3000 мм. Принцип работы циклона показан на рисунке 4.

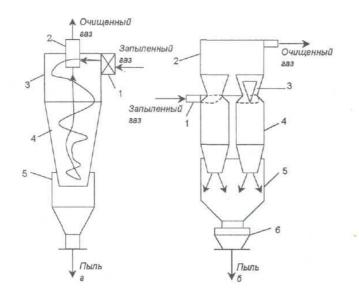


Рис. 4 Циклоны: а — одинарный; 1 — входной патрубок; 2 — выхлопная труба; 3 — цилиндрическая камера; 4 — коническая камера; 5 — пылеосадительная камера; 6 — групповой: 1 — входной патрубок; 2 — камера обеспыленных газов; 3 — кольцевой диффузор; 4 — циклонный элемент; 5 — бункер; 6 — пылевой затвор

Групповые циклоны. При больших расходах очищаемых газов применяют групповую компоновку аппаратов. Это позволяет не увеличивать диаметр циклона, что положительно сказывается на эффективности очистки. Запыленный газ входит через общий коллектор, а затем распределяется между циклонными элементами.

В табл.1 приведены характерные параметры сухих механических пылеуловителей. Таблица 1.

Характерные параметры сухих механических пылеуловителей

Тип	Максимальная	Эффективность	Гидравлическое	Верхний
пылеуловителя	производительность,	Пылеулавливания	сопротивление,	предел
	M^3/q	частиц различных	Па	температуры
		размеров, %		газов, °С
Осадительная	VΓ	80 – 90 (50 мкм)	50 – 130	350 - 550
камера		·		
Циклон	85 000	50 – 80 (10 мкм)	250 - 1500	350 - 550
Вихревой	30 000	90 (2 мкм)	До 2000	До 250
пылеуловитель				
Батарейный	170 000	90 (5 мкм)	750 – 1500	350 - 550
циклон				
Инерционный	127 000	90(2 мкм)	750 – 1500	До 400
пылеуловитель				
Динамический	42 500	90(2 мкм)	750 - 1500	До 400
пылеуловитель				
Vг определяется возможной площадью для размещения				

Методики расчета аппаратов очистки газовых выбросов Расчет пиклона

Циклоны относят к сухим механическим пылеулавливателям, в которых пыль оседает под действием центробежных сил. Они получили широкое распространение. Выпускают циклоны цилиндрического и конического типов. Циклоны Цилиндрического типа (рис. 1) предназначены для улавливания сухой пыли, золы и т. д.

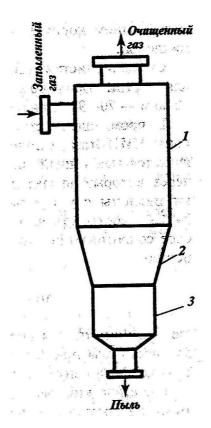


Рис.1. Циклон:

1 – цилиндрический корпус;

2 – коническое днище;

3 – разгрузочный бункер.

Наиболее эффективно они работают, когда размер частиц пыли превышает 20 мкм. Конические циклоны предназначены для очистки газовых и воздушных сред от сажистых частиц. Чем больше диаметр корпуса циклона, тем выше его производительность. Степень очистки газа в циклоне тем больше, чем больше коэффициент разделения сред f:

$$f = \frac{w_r^2}{gr}, (1)$$

где w_r — окружная скорость вращения частицы вместе с потоком на радиусе r, м/с;

r — радиус вращения частицы, м.

Для циклонов значение f достигает ста и более единиц. Из выражения (1) видно, что f можно увеличить:

- а) уменьшением радиуса вращения газового потока;
- б) увеличением его скорости.

При этом следует помнить, что увеличение скорости вызывает возрастание гидравлического сопротивления и турбулентности газового потока, которая ухудшает процесс осаждения, а уменьшение радиуса циклона ведет к снижению его производительности. Поэтому при больших объемах запыленного газа вместо одного циклона большего диаметра применяют несколько циклонных элементов меньшего размера, объединенных в одном корпусе, — батарейные циклоны (мультициклоны).

Степень очистки газов от пыли в циклоне составляет: для частиц диаметром 5 мкм — 80-85%, диаметром 10 мкм — 70-96%, диаметром 20 мкм — 95—98%

В промыппленности наиболее распространены циклойы НИИОгаза, отличительной особенностью которых является наклонный патрубок прямоугольного сечения, через который вводится газ. Наиболее часто применяют циклоны с углом наклона входного патрубка 15° и 24° - соответственно ЦН-15 и ЦН-24. Гидравлическое сопротивление циклона можно определить по уравнению:

$$\Delta p = \xi_u \cdot w_{ucm}^2 \cdot p_t / 2, \quad (2)$$

где $w_{\text{ист}}$ – истинная скорость газа в циклоне, м/с; p_{t} – плотность газа при соответствующей температуре, кг/м 3 ; $\xi_{\text{ц}}$ – коэффициент сопротивления циклона..

Теоретический расчет циклонов весьма сложен, поэтому на практике расчеты ведут по упрощенной методике. Порядок расчета может быть следующим:

- 1. Выбирают тип циклона с учетом размеров улавливаемых частиц.
- 2. Определяют диаметр циклона:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot w_{onm}}}, (3)$$

где Q — расход очищаемого газа, м 3 /с; w_{onm} — оптимальная скорость газа в циклоне, м/с.

3. По рассчитанному значению D выбираем тип циклона в соответствии с принятым рядом внутренних диаметров (мм): 200, 300, 400,

 $= \Gamma \times$

выбирают с ближайшим к рассчитанному диаметром.

4. Определяют истинную скорость газа в циклоне:

$$w_{ucm} = \frac{4Q}{\pi \cdot D^2}, (4)$$

Скорость газа в циклоне не должна отклоняться более чем на 15% от w_{onm} .

5. По уравнению (2) рассчитывают гидравлическое сопротивление циклона.

Из опыта установлено, что для рассматриваемого типа циклонов величина $\Delta p/p_t$ имеет оптимальное значение 500-750 м $^2/c^2$.

При подборе циклона также часто используют следующую методику. Выбирают значение $\Delta p/p_t$ из оптимального интервала и, зная $\xi_{\rm u}$, по соотношению $\frac{\Delta p}{p_t} = \frac{\xi_{\rm u} \cdot w^2}{2}$ рассчитывают скорость газа в циклоне w.

Далее по уравнению расхода вычисляют диаметр циклона и подбирают по ГОСТу соответствующий аппарат. Затем определяют степень очистки газа от пыли по номограммам, составленным на основе опытных данных, в зависимости от фракционного состава пыли, ее плотности, начальной запыленности газа и ряда других факторов.

Если найденное значение степени очистки газа окажется недостаточным, следует сделать перерасчет, увеличить соотношение $\Delta p/p_t$, тем самым повысив скорость и уменьшив диаметр аппарата, выбрать другой тип циклона, с большим $\xi_{\rm u}$, а значит, более эффективный, или же установить несколько циклонов меньшего диаметра, работающих параллельно. В последнем случае w остается без изменений, и таким образом удается погасить эффективность циклона без увеличения гидравлического сопротивления.

Пример расчета циклона.

Подобрать циклон для очистки от пыли отходящего из распылительной сушилки воздуха, если его расход составляет $Q = 2100 \text{ м}^3/\text{ч}$, температура – 100°C , а наименьший размер частиц – 80 мкм.

Решение

Для улавливания частиц размером 80 мкм выбираем циклон типа ЦН-15.

Находим диаметр циклона по формуле (3):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2100}{3,14 \cdot 3,5 \cdot 3600}} = 0,46 \text{ M}.$$

Выбираем из ряда стандартных диаметров циклон диаметром 500 мм.

Определяем истинную скорость воздуха в аппарате по формуле (4):

$$w_{ucm} = \frac{4 \cdot 0.583}{3.14 \cdot 0.5^2} = 2.97 \,\text{M/c}.$$

Примем соотношение $\frac{\Delta p}{p_t}$ = 740.

Плотность воздуха определяем по формуле

$$p_t = \frac{M}{22.4} \frac{273}{T},$$

где М – молярная масса газа, кг/кмоль; Т – температура газа, К.

Для воздуха M = 29 кг/моль и p_t соответственно равно

$$p_t = \frac{29}{22.4} \cdot \frac{273}{373} = 0.95 \text{ KG/M}.$$

По формуле (2) гидравлическое сопротивление циклона равно

$$\Delta p = 160 \cdot 0.95 \cdot \frac{2.97^2}{2} = 670 \text{ \Pia}.$$

2.3 Очистка газов в фильтрах

В основе работы пористых фильтров всех видов лежит процесс фильтрации газа через пористую перегородку, в ходе которого твердые частицы задерживаются, а газ полностью проходит сквозь нее.

Фильтрующие перегородки весьма разнообразны по своей структуре, но в основном они состоят из волокнистых или зернистых элементов и условно подразделяются на следующие типы:

- *гибкие пористые перегородки* тканевые материалы из природных, синтетических или минеральных волокон;
- нетканые волокнистые материалы (войлоки, клееные и иглопробивные материалы, бумага, картон, волокнистые маты);
- ячеистые листы (губчатая резина, пенополиуретан, мембранные фильтры);
- *полужеесткие пористые перегородки* зернистые материалы (пористая керамика или пластмасса, спеченные или спрессованные порошки металлов, пористые стекла, углеграфитовые материалы и др.);
- волокнистые материалы (сформированные слои из стеклянных и металлических волокон); металлические сетки и перфорированные листы.

В процессе очистки запыленного газа частицы приближаются к волокнам или к поверхности зерен материала, сталкиваются с ними и осаждаются главным образом в результате действия сил диффузии, инерции и электрического притяжения.

Проходя через фильтрующую перегородку, поток разделяется на тонкие непрерывно разъединяющиеся и смыкающиеся струйки. Частицы, обладая инерцией, стремятся перемещаться прямолинейно, сталкиваются с волокнами, зернами и удерживаются ими. Такой механизм характерен для захвата крупных частиц и проявляется сильнее при увеличении скорости фильтрования. Электростатический механизм захвата пылинок проявляется в том случае, когда волокна несут заряды или поляризованы внешним электрическим полем.

В фильтрах уловленные частицы накапливаются в порах или образуют пылевой слой на поверхности перегородки, и, таким образом, сами становятся для вновь поступающих частиц фильтрующей среды. По мере накопления пыли пористость перегородки уменьшается, а сопротивление возрастает. Поэтому необходимость удаления пыли и регенерации фильтра.

В зависимости от назначения и величины входной и выходной концентрации фильтры условно разделяют на три класса:

Фильтры тонкой очистки (высокоэффективные или абсолютные фильтры) – предназначены для улавливания с очень высокой эффективностью (>99 %) в основном субмикронных частиц из промышленных газов с низкой входной концентрацией (<1 мг/м³) и скоростью фильтрования <10 см/с. Фильтры

применяют для улавливания особо токсичных частиц, а также для ультратонкой очистки воздуха при проведении некоторых технологических процессов. Они не подвергаются регенерации;

Воздушные фильтры — используют в системах приточной вентиляции и кондиционирования воздуха. Работают при концентрации пыли менее 50 мг/м³, при высокой скорости фильтрации — до 2,5-3 м/с. Фильтры могут быть не регенерируемые и регенерируемые;

Промышленные фильтры (тканевые, зернистые, грубо-волокнистые) — применяются для очистки промышленных газов концентрацией до 60 г/м³. Фильтры регенерируются.

Тканевые фильтры. Эти фильтры имеют наибольшее распространение. Возможности их использования расширяются в связи с созданием новых температуростойких и устойчивых к воздействию агрессивных газов тканей. Наибольшее распространение имеют рукавные фильтры рис.5.

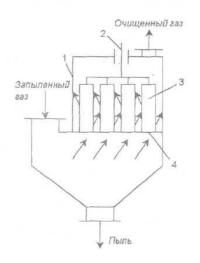


Рис. 5 Рукавный фильтр: 1 - корпус; 2 — встряхивающее устройство; 3 — рукав;

4 — распределительная решетка.

Корпус фильтра представляет собой металлический шкаф, разделенный вертикальными перегородками на секции, в каждом из которых размещена группа фильтрующих рукавов. Верхние концы рукавов заглушены и подвешены к раме, соединенной с встряхивающим механизмом. Внизу имеется бункер для пыли со шнеком для её выгрузки. Встряхивание рукавов в каждом из секций производится поочередно.

В тканевых фильтрах применяют фильтрующие материалы двух типов: обычные ткани, изготавливаемые на ткацких станках, и войлоки, получаемые путем свойлачивания или механического перепутывания волокон иглопробивным методом. В типичных фильтровальных тканях размер сквозных пор между нитями достигает 100-200 мкм.

К тканям предъявляются следующие требования:

- 1)высокая пылеемкость при фильтрации и способность удерживать после регенерации такое количество пыли, которое достаточно для обеспечения высокой эффективности очистки газов от тонкодисперсных твердых частиц;
- 2) сохранение оптимально высокой воздухопроницаемости в равновесно запыленном состоянии;
- 3) высокая механическая прочность и стойкость к истиранию при многократных изгибах, стабильность размеров и свойств при повешенной температуре и агрессивном воздействии химических примесей, находящихся в сухих и насыщенных влагой газах;
- 4) способность к легкому удалению накопленной пыли;
- 5) низкая стоимость.

Существующие материалы обладают не всеми указанными свойствами и их выбирают в зависимости от конкретных условий очистки. Например, хлопчатобумажные ткани обладают хорошими фильтрующими свойствами и имеют низкую стоимость, но обладают недостаточной химической и термической стойкостью, высокой горючестью и влагоемкостью. Шерстяные ткани характеризуются большой воздухопроницаемостью, обеспечивают надежную очистку и регенерацию, но стойкость к кислым газам, особенно к SO2 и туману серной кислоты, низкая. Стоимость их выше, чем хлопчатобумажных. При длительном воздействии высокой температуры волокна становятся хрупкими. Работают при температуре газов до 90 °C.

Синтетические ткани вытесняют материалы из хлопка и шерсти благодаря более высокой прочности, стойкости к повышенным температурам и агрессивным воздействиям, более низкой стоимости. Среди них нитроновые ткани. Которые используют при температуре 120-130°C в химической промышленности и цветной металлургии. Лавсановые ткани используются для

очистки горячих сухих газов в цементной, металлургической и химической промышленностях. В кислых средах стойкость их высокая, в щелочных – резко снижается.

Стеклянные ткани стойки при температуре 150-350 °C. Их изготавливают из алюмоборосиликатного безщелочного или магнезиального стекла.

По мере запыления аэродинамическое сопротивление ткани возрастает, а расход газа через фильтр уменьшается. Ткань регенерируют путем продувки в обратном направлении, технического встряхивания или другими методами. После нескольких циклов фильтрации-регенерации остаточное количество ПЫЛИ ткани стабилизируется: оно соответствует так называемому пылесодержанию равновесному ткани И остаточному сопротивлению равновесно запыленной ткани. Значения этих величин зависят от типа фильтрующего материала, размеров и свойств пылевых частиц, относительной влажности газов, метода регенерации и других частиц, относительной влажности газов, метода регенерации и других факторов.

По данным практики, остаточная концентрация пыли после тканевых фильтров составляет $10-50~{\rm Mr/m^3}.$

Волокнистые фильтры. Фильтрующий элемент этих фильтров состоит из одного или нескольких слоев, в которых однородно распределены волокна. Это фильтры объемного действия, так как они рассчитаны на улавливание и накапливание частиц преимущественно по всей глубине слоя. Сплошной слой пыли образуется только на поверхности наиболее плотных материалов. Для фильтров используют естественные или специально получаемые волокна толщиной от 0,01 до 100 мкм. Толщина фильтрующих сред составляет от десятых долей миллиметра (бумага) до 2 м (многослойные глубокие насадочные фильтры долговременного использования). Такие фильтры используют при концентрации дисперсной твердой фазы 0,5 – 5 мг/м³ и только некоторые грубоволокнистые фильтры применяют при концентрации 5-50 мг/м³. При таких концентрациях основная доля частиц имеет размеры менее 5-10 мкм.

Различают следующие виды промышленных волокнистых фильтров: 1) сухие - тонковолокнистые, электростатические, глубокие, фильтры предварительной очистки (предфильтры);

2) мокрые – сеточные, самоочищающиеся, с периодическим или непрерывным орошением.

Процесс фильтрации в волокнистых фильтрах состоит из двух стадий. На первой стадии (стационарная фильтрация) уловленные частицы практически не изменяют структуры фильтра во времени, на второй стадии процесса (нестационарная фильтрация) в фильтре происходят непрерывные структурные изменения вследствие накопления уловленных частиц в значительных количествах. В соответствии с этим все время изменяются эффективность очистки и сопротивление фильтра. Теория фильтрования в таких фильтрах еще недостаточно разработана.

Волокнистые фильтры тонкой очистки. Используются в атомной энергетике, радиоэлектронике, точном приборостроении, промышленной микробиологии, в химико-фармацевтической и других отраслях. Фильтры позволяют очищать большие объёмы газов от твердых частиц всех размеров, включая субмикронные. Их широко применяют для очистки радиоактивных аэрозолей. Для очистки 99 % (для частиц 0,05-0,5 мкм) применяют материалы в виде тонких листов или объемных слоев из тонких или ультратонких волокон (диаметр менее 2 мкм). Скорость фильтрации в них составляет 0,01-0,15 м/с, сопротивление чистых фильтров не превышает 200-300 Па, а забитых пылью фильтров 700-1500 Па. Улавливание частиц в фильтрах тонкой очистки происходит за счет броуновской диффузии и эффекта касания.

Регенерации отработанных фильтров неэффективна или невозможна. Они предназначены для работы на длительный срок (0,5-3 года). После этого фильтр заменяют на новый. С увеличением концентрации пыли на входе >0,5 мг/м³ срок службы значительно сокращается.

В России широко распространены фильтрующие материалы типа ФП (фильтры Петрянова) из полимерных смол. Они представляют собой слои синтетических волокон диаметром 1-2,5 мкм, нанесенные на марлевую подложку (основу) из скрепленных между собой более толстых волокон. В

качестве полимеров для ФП используют перхлорвинил (ФПП) и диацетатцеллюлозу (ФПА), хотя возможно применение других материалов. Перхлорвиниловые волокна характеризуются гидрофобностью и высокой химической стойкостью в кислотах, щелочах и растворах солей. Но они не стойки против масел и растворителей, и термостойкость их не велика (до 60 °C). Ацетатные волокна — гидрофильны, недостаточно стойки к кислотам и щелочам, но термостойкость их достигает 150 °C.

Материал $\Phi\Pi$ характеризуется высокими фильтрующими свойствами. Толщина слоев $\Phi\Pi$ (0,2 - 1 мм) дает возможность получить поверхность фильтрации до 100 - 150 м² на

 1 м^3 аппарата. Пылеемкость материалов $\Phi\Pi$ ($50 - 100 \text{ г/м}^2$) выше, чем асбестоцеллюлозных картонов и стекловолокнистых бумаг.

Оптимальная конструкция фильтров тонкой очистки должна отвечать следующим основным требованиям: наибольшая поверхность фильтрации при наименьших габаритах, минимальное сопротивление, возможность более удобной и быстрой установки, надежная герметичность групповой сборки отдельных фильтров.

Зернистые фильтры. Применяются для очистки газов реже, чем волокнистые фильтры. Достоинства зернистых фильтров: доступность материала, возможность работать при высоких температурах и в условиях агрессивной среды, выдерживать большие механические нагрузки и перепады давления, а также резкие изменения температуры. Различают насадочные и жесткие зернистые фильтры.

Насадочные (насыпные) фильтры. В таких фильтрах улавливающие элементы (гранулы, куски и т.д.) не связаны друг с другом. К ним относятся: статические (неподвижные) слоевые фильтры; динамические (подвижные) слоевые фильтры гравитационным перемещением сыпучей c среды; псевдоожиженные слои. В насыпных фильтрах качестве насадки используется песок, галька, шлак, дробленные горные породы, древесные опилки, кокс, крошка резины, пластмассы, графит и др. Выбор материала зависит от требуемой термической и химической стойкости, механической прочности и доступности.

По мере накопления пыли в порах насадки эффективность улавливания возрастает. При увеличении сопротивления до предела производят рыхление слоя. После нескольких циклов рыхления насадку промывают или заменяют.

Фильтры имеют насадку с размером зерен 0,2-2 мм. Воздух направляется сверху вниз. При концентрации пыли на входе в фильтр 1- 20 мг/м³ расход воздуха составляет 2,5-17, 0 м³/(м².мин); начальное сопротивление от 50 до 200 Па. Высота слоя на сетках находится в пределах от 0,1 до 0,15 м.

Имеются зернистые фильтры, регенерируемые путем ворошения или вибрационной встряски зернистого слоя внутри аппарата, а также фильтры с движущейся средой рис.6

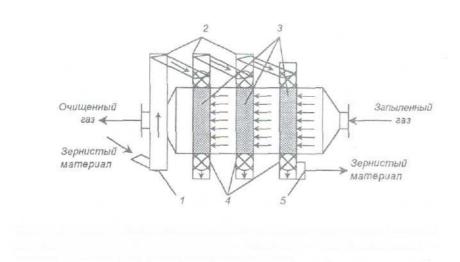


Рис. 6 Фильтр с движущимися слоями зернистого материала: 1 — короб для подачи свежего зернистого материала;

2 — питатели; 3 — фильтрующие слои; 4 — затворы; 5 — короб для вывода зернистого материала

Материал перемещается между сетками или жалюзийными решетками. Регенерацию материала от пыли проводят в отдельном аппарате путем грохочения или промывки. Если фильтрующая среда состоит из того же материала, что и пыль, то загрязненные гранулы выводят из системы и используют в технологическом процессе.

Зернистые жесткие фильтры. В этих фильтрах зерна прочно связаны друг с другом в результате спекания, прессования или склеивания и образуют прочную неподвижную систему. К ним относятся пористая керамика, пористые металлы, пористые пластмассы. Фильтры устойчивы к высокой температуре, коррозии и механическим нагрузкам и применяются для фильтрования сжатых газов.

Недостатки таких фильтров: высокая стоимость, большое гидравлическое сопротивление и трудности регенерации, которую проводят четырьмя способами:

- 1) продуванием воздухом в обратном направлении;
- 2) пропусканием жидких растворов в обратном направлении;
- 3) пропусканием горячего пара;
- 4) простукиванием или вибрацией трубной решетки с элементами.

2.4. Очистка газов в мокрых пылеуловителях

Мокрые пылеуловители имеют ряд достоинств и недостатков в сравнении с аппаратами других типов.

Достоинства:

- 1) небольшая стоимость и более высокая эффективность улавливания взвешенных частиц;
- 2) возможность использования для очистки газов от частиц размером до 0,1 мкм;
- 3) возможность очистки газа при высокой температуре и повышенной влажности, а так же при опасности возгорании и взрывов очищенных газов и уловленной пыли;
- 4) возможность наряду с пылями одновременно улавливать парообразные и газообразные компоненты.

Недостатки:

- 1) выделение уловленной пыли в виде шлама, что связано с необходимостью обработки сточных вод, т.е. с удорожанием процесса;
- 2) возможность уноса капель жидкости и осаждения их с пылью в газоходах и дымососах; 3) в случае очистки агрессивных газов необходимость защищать аппаратуру и коммуникации антикоррозионными материалами.

В мокрых пылеуловителях в качестве орошающей жидкости чаще всего используется вода.

В зависимости от поверхности контакта или по способу действия их подразделяют на 8 видов:

- 1) полые газопромыватели;
- 2) насадочные скрубберы;
- 3) тарельчатые (барботажные и пенные);
- 4) с подвижной насадкой;
- 5) ударно инерционного действия (ротоклоны);
- 6) центробежного действия;
- 7) механические газопромыватели;
- 8) скоростные газопромыватели (скрубберы Вентури и эжекторные).

Иногда мокрые пылеуловители подразделяют по затратам энергии на низконапорные (гидравлическое сопротивление которых не вешает $\Delta P = 1,5-3000~\Pi a$): динамические скрубберы, высоконапорные ($\Delta P > 3,0~\kappa\Pi a$): скрубберы Вентури, с подвижной насадкой.

В результате контакта запыленного газового потока с жидкостью образуется межфазная поверхность контакта. Эта поверхность состоит из газовых пузырьков, газовых струй, жидких струй, капель, пленок жидкости. В большинстве мокрых пылеуловителей наблюдаются различные виды поверхностей, поэтому пыль улавливается в них оп различным механизмам.

Полые газопромыватели. Наиболее распространены полые форсуночные скрубберы (рис. 7). Они представляют собой колонну круглого или прямоугольного сечения, в которой осуществляется контакт между газом и каплями жидкости. По направлению движения газа и жидкости полые скрубберы делят на противоточные и с поперечным подводом жидкости.

Форсунки устанавливают в колонне в одном или нескольких сечениях: иногда рядами до 14 -16 в каждом сечении, иногда только по оси аппарата.

При работе без каплеуловителей чаще используют противоточные скрубберы. Скорость газа в них изменяется от 0,6 до 1,2 м/с. Скрубберы с каплеуловителями работают при скорости газа 5 – 8 м/с. Гидравлическое сопротивление пятого скруббера без каплеуловителя и газораспределителя обычно не превышает 250 Па.

Скрубберы обеспечивают высокую степень очистки только при улавливании частиц пыли размером d = 10 мкм и малоэффективны при улавливании частиц размером d < 5 мкм.

Высота скруббера составляет $\approx 2,5$ D. Диаметр аппарата определяется по уравнению расхода, удельный расход жидкости m выбирают в пределах 0,5-8 л/м³ газа.

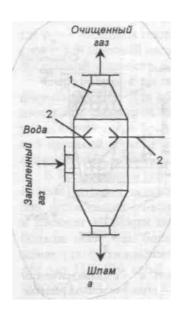


Рис. 7 Скруббер полый форсуночный: 1 – корпус; 2 – форсунки.

Расчет аппаратов мокрой очистки газов от пыли

Расчет пенного пылеулавливателя

Удаление пыли в аппаратах мокрой очистки происходит благодаря смачиванию частичек пыли жидкостью Процесс протекает тем эффективнее,

чем больше поверхность контакта фаз между газом и жидкостью, что достигается, например, диспергированием жидкости на капли или газа — на множество пузырей, формирующих пену.

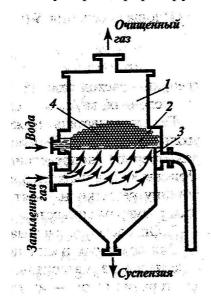


Рис. 2. Барботажный (пенный пылеулавливатель):

- 1 корпус;
- 2 тарелка с перфорацией;
- 3 переливной порог;
- 4 слой пены на тарелке.

Среди аппаратов мокрой очистки газов широкое распространение получили пенные пылеулавливатели ЛТИ (рис. 2). Они бывают однополочные и цвухполочные, с отводом воды через сливное устройство над решеткой и с полным протеканием воды через отверстия решетки (провальные). Аппараты со сливными устройствами позволяют работать при больших колебаниях нагрузки по газу и жидкости. Выбор числа полок зависит главным образом от запыленности газа.

Порядок расчета ленного пылеулавливателя

1. Выбор расчетной скорости газа.

Скорость газа в аппарате важнейших факторов, ОДИН ИЗ определяющих эффективность работы аппарата. Допустимый диапазон фиктивных скоростей составляет 0,5-3,5 м/с. Но при скоростях больше 2 м/с интенсивный унос брызг требуется начинается И установка брызгоулавливателей. При скоростях меньше 1 м/с возможно сильное протекание жидкости через отверстая решетки, вследствие чего высота слоя пены снижается, а жидкость может не полностью покрывать поверхность решетки. Для обычных условий рекомендуется скорость w = 2 м/с.

2. Определение площади сечения аппарата.

Площадь сечения S (в м 2) равна

$$S = \frac{Q_{\rm H}}{\rm w}, (5)$$

где $Q_{\scriptscriptstyle H}$ – расход газа, поступающего в аппарат при рабочих условиях, M^3/c ; w — скорость газа, M/c.

Газопромыватель может быть круглого или прямоугольного сечения. В первом.случае обеспечивается более равномерное распределение газа, во втором — жидкости. При выборе аппарата прямоугольного сечения длину и ширину решетки находят с помощью данных по основным размерам аппаратов.

3. Определение расхода поступающей воды.

Для холодных и сильно запыленных газов расход определяется из материального баланса пылеулавливания, для горячих газов — из теплового баланса. В сомнительных случаях выполняют оба расчета и выбирают наибольшее из полученных значений расхода. (Газ считают холодным, если его температура меньше 100 °C.

Расход поступающей воды L (кг/с) рассчитывают исходя из материального баланса пылеулавливания:

$$L = L_y + L_{c_{\pi}},$$
 (6)

где L_y – расход воды, стекающей через отверстия в решетке (утечка), кг/с; $L_{c\,\pi}$ - расход воды, стекающей через сливной порог, кг/с.

Величина L_y определяется массовым расходом уловленной пыли G_n (кг/с); концентрацией пыли в тутечке x_y (кг пыли/кг воды); коэффициентом, распределения пыли между утечкой и сливной водой K_p , выраженным отношением расхода пыли, попадающей в утечку, к общему расходу пыли:

$$L_{y}=G_{\pi}\cdot\frac{K_{p}}{x_{v}}$$
 (7).

Расход уловленной пыли (кг/с) можно определить по соотношению

$$G_{\pi} = Q_{\text{\tiny H}} \cdot c_{\text{\tiny H}} \cdot \eta, (8)$$

где $c_{\scriptscriptstyle H}$ - начальная концентрация пыли в газе, кг/м³; $\mathfrak y$ - заданная степень пылеулавливания, доли единицы.

Коэффициент распределения K_p находится в диапазоне 0,6-0,8; в расчетах обычно принимают $K_p = 0,7$.

Концентрация пыли в утечке изменяется от $x_y = 0.2$ (для не склонных к слипанию минеральных пылей) до $x_y = 0.05$ (для концентрированных пылей).

Так как в утечку попадает больше пыли, чем в воду, стекающую через сливной порог, то для уменьшения общего расхода воды целесообразно уменьшать величину $L_{\rm c.r.}$. Однако слишком сильная утечка создает неравномерность высоты слоя воды на решетке. Поэтому в расчетах рекомендуется принимать $L_{\rm c.r.} = L_y$. .Исходя из этого выражение (6) приводится к виду:

$$L = 2 G_{\pi} \cdot \frac{K_p}{x_v}$$

4. Определение типа решетки.

На этом этапе выбирают тип перфорации (круглые отверстия или щели), диаметр отверстия d_o или ширину щели $b_{\rm m}$ и шаг между ними t. исходя*. Форму отверстий выбирают исходя из конструктивных соображений, а их размер — исходя из вероятности забивки пылью. Обычно принимают $b_{\rm m}=2$ -4 мм, $d_o=2$ -6 мм. Затем выбирают такую скорость газа в отверстиях w_o , которая обеспечит необходимую величину утечки.

При диаметре отверстий $d_o = 2$ -3 мм скорость газа должна составлять 6-8 м/с, а при $d_o = 4$ -6 мм $w_o = 10$ -13 мм/с.

Далее рассчитывают долю свободного сечения решетки S_0 , отвечающей выбранной скорости:

$$S_0 = \frac{w}{w_o \cdot \varphi}, (10)$$

где ϕ — отношение перфорированной площадки решетки к площади сечения аппарата (ϕ = 0,9-0,95).

Исходя из величины S_0 , определяют шаг t (в м) между отверстиями в зависимости от способа разбивки отверстий на решетке. При разбивке по равностороннему треугольнику:

$$t = d_o \sqrt{\frac{L}{S_o}} \cdot (11)$$

Толщину решетки δ выбирают по конструктивным соображениям. Минимальному гидравлическому сопротивлению соответствует $\delta = 5$ мм.

5. Отделение высоты слоя пены и сливного порога.

Высоту порога на сливе с решетки устанавливают исходя из создания слоя пены такой высоты, которая обеспечила бы необходимую степень очистки газа.

Первоначально определяют коэффициент пылеулавливания K_n (в м/с):

$$K_{\Pi} = \frac{2\eta w}{2 - \eta}, (12)$$

где η – заданная степень очистки газа от пыли.

Связь между K_{π} и высотой слоя пены H (в м) при улавливании водой гидрофильной пены выражается эмпирическим уравнением

$$H = K_{\pi} - 1.95w + 0.09$$
, (13)

где величины K_{Π} и w имеют размерность м/с. Далее определяют высоту исходного слоя воды на решетке h_{θ} (в м):

$$h_0 = 1,43 \cdot H^{1,67} w^{-0,83}.$$
 (14)

Высоту порога $h_{\scriptscriptstyle \Pi}$ рассчитывают по эмпирической формуле

$$h_{\text{II}} = 2.5 \ h_0 - 0.0176 \sqrt[3]{i^2}$$
, (15)

где i — интенсивность потока на сливе с решетки (в кг/м·с)), определяемая как

$$i = \frac{L_{cn}}{b_c}, (16)$$

где b_c — ширина сливного отверстия. При прямоугольном сечении аппарата b_c равна ширине решетки.

Пример расчета пенного пылеулавливателя

Рассчитать пенный аппарат для очистки 48 000 м 3 /ч газа от гидрофильной, не склонной к слипанию пыли. Температура газа – 60 °C. Запылённость газа на входе в аппарат $c_{\rm H}=0{,}008$ кг/м 3 . Требуемая степень очистки $\eta=0{,}99$. Очистка производится водой.

Решение

Выбираем газоочиститель системы ЛТИ и принимаем рабочую скорость газа (на все сечение аппарата) w = 2 м/c.

Рассчитываем по формуле (5) площадь сечения аппарата:

$$S = \frac{48000}{3600 \cdot 2} = 6,67 \text{ m}^2.$$

Площадь сечения аппарата по каталогу ЛТИ:

$$S = 2.1 \cdot 3.48 = 7.3 \text{ m}^2.$$

 $= 6.67 \text{ m}^2.$

Фактическая скорость газа:

$$W = \frac{48000}{3600 \cdot 7.3} = 1,82 \text{ M}^2.$$

Определяем по формуле (8) расход уловленной пыли:

$$G_{\text{ii}} = \frac{48000 \cdot 0,008 \cdot 0,99}{3600} = 0,106 \text{ kg/c}.$$

Принимаем коэффициент распределения K_p =0,7 и концентрацию пыли в утечке x_y 0,15 кг пыли/кг воды. Тогда расход поступающей воды по формуле (9) составит

$$L = \frac{2 \cdot 0,106 \cdot 0,7}{0,15} = 0,989 \text{ kg/c}.$$

Выберем решетку с круглыми отверстиями диаметром $d_o = 4$ мм. Тогда скорость газа в отверстиях должна быть равна $w_o = 10$ м/с. По выражению (10) доля свободного сечения решетки S_0 при $\phi = 0.95$ равна

$$S_0 = \frac{1,82}{(10 \cdot 0.95)} = 0,195.$$

Если принять, что отверстия располагаются по равностороннему треугольнику, то шаг между отверстиями в соответствии с формулой (11) составит

$$t = 0.004 \sqrt{\frac{0.91}{0.192}} = 0.0087 \text{ M}.$$

Толщину решетки δ примем равной 5 мм.

Определим по уравнению (12) коэффициент скорости пылеулавливания:

$$K_{\pi} = \frac{2 \cdot 0.99 \cdot 1.82}{2 - 0.99} = 3.57 \text{ m/c}.$$

Тогда высота слоя пены на решетке в соответствии с уравнением (13) равна

$$H = 3.57 - 1.95 \cdot 1.82 + 0.09 = 0.11 \text{ m}.$$

Высоту исходного слоя воды на решетке рассчитываем по формуле (14):

$$h_0 = 1,43 \cdot 0,11^{1,67} \cdot 1,82^{-0,83} = 0,0218 \text{ M}.$$

Интенсивность потока на сливе с решетки найдем по соотношению (16):

$$i = \frac{1,989}{2 \cdot 3.48} = 0,142 \text{ kg/(m·c)}.$$

Высота сливного порога по формуле (15) будет равна

$$h_{\rm ff} = 2.5 \cdot 0.0218 - 0.0176 \sqrt[3]{0.142^2} = 0.05 \text{ M}.$$

Расчет скруббера Вентури

Из конструкций мокрых пылеулавливателей, выполненных на базе трубы-коагулятора Вентури, наиболее удачными считаются разработки институтов НИИОгаз и «Гипрогазочистка», в которых определены 10

типоразмеров скруббера Вентури с регулируемым сечением горловины. На рис. 3 представлен унифицированный аппарат этого типа.

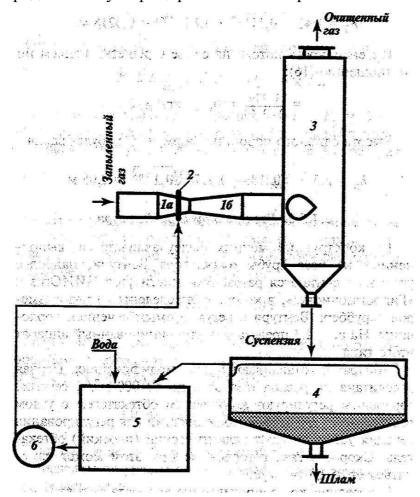


Рис.3. Скруббер Вентури:

- 1 труба Вентури (1a диффузор, 1б конфузор);
- 2 распределительное устройство для подачи воды;
- 3 циклонный сепаратор;
- 4 отстойник для суспензии;
- 5 промежуточная емкость;
- 6 насос.

Аппарат изготавливают в двух модификациях. Первая рассчитана на расход газа от 2 до 50 000 м³/ч, сечение горловины регулируют коническим обтекателем с углом раскрытия 7°. Во второй модификации для регулирования сечения устанавливают эллиптический (плоский) обтекатель. Скорость газа в горловине при этом может изменяться от 85 до 145 м/с.

Гидравлическое сопротивление аппарата за счет изменения скорости газа может колебаться в пределах от 40 до 120 гПа, удельное орошение -0,5- $3,5\,$ л/м 3 . Область использования пылеулавливателей этого тина - обеспы-

ливание газов с температурой до 400 °C, начальной концентрацией пыли до 30 г/м 3 и допустимым содержанием взвесей в оборотной воде 0,5 г/л.

Порядок расчета скруббера Вентури

В ряде частных случаев степень очистки газа от взвешенных частиц η может быть рассчитана по эмпирическим формулам. Обычно же ее определение требует проведения экспериментов.

Для частиц диаметром более 0,1 мкм фракционную эффективность пылеулавливания в скруббере Вентури можно определить из эмпирической зависимости

$$\eta_{\phi i} = 1 - \exp[-1.56m \sqrt{\frac{\rho_{ms} d_{vi} w_{e}}{18\mu d_{\kappa}}}],$$

где m — удельное орошение, л/м³; р_{тв} — плотность пыли, кг/м³; d_к — средний диаметр капель, м; d_{чi} — диаметр частиц *i*-й фракции, м; μ — динамический коэффициент вязкости газа, Па·с; w_{Γ} — скорость газа в горловине, м/с.

Для частиц размером 1-10 мкм при определенных скоростях газа и удельном орошении по рассчитанной фракционной эффективности очистки можно предварительно определить из справочных таблиц гидравлическое сопротивление в трубе.

Общая эффективность пылеулавливания:

$$\eta = \sum_{i=1}^i \eta_i \mathcal{D}_i ,$$

где η_i — эффективность пылеулавливания для i-й фракции, рассчитанная по d_{cp} для данной фракции; Φ_i — массовая доля i-й фракции.

Дальнейший уточняющий расчет сводится к расчету скорости газа и геометрических параметров трубы Вентури.

Скорость газа в горловине трубы:

$$w_{\rm r} = \sqrt{\frac{2\Delta P_{\rm T}}{\rho \left(\xi_{\rm cyx} + \frac{\xi_{\rm x} m \rho_{\rm x}}{\rho}\right)}},$$

где $\xi_{\rm cyx}$ — коэффициент гидравлического сопротивления «сухой» трубы; $\xi_{\rm **}$ — коэффициент гидравлического сопротивления трубы с учетом подачи орошающей жидкости; ρ и $\rho_{\rm **}$ — соответственно плотности газа и орошающей жидкости, кг/м³; m — удельное орошение м³/м³; $\Delta P_{\rm T}$ — гидравлическое сопротивление трубы Вентури.

Для расчета геометрических размеров стандартизированной трубы Вентури используют ряд эмпирических соотношений.

Диаметр горловины:

$$d_{\rm r} = 1.88 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{V_{_{\it 2.6blx}}}{{\rm W}_{_{\rm r}}}}$$
,

где $V_{\text{г.вых}}$ — производительность пылеулавливателя по влажному газу при температуре и давлении газа на выходе из диффузора, м 3 /ч.

Длина горловины $l_{\scriptscriptstyle \Gamma} - 0,15d$ и при увеличении угла раскрытия конфузора от 25 до 60° увеличивается вдвое.

Диаметр входного отверстия трубы:

$$d_{\rm K} = 1.88 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{V_{z.6x}}{W_{\rm BX}}}$$

где $V_{\text{г.вx}}$ – производительность установки по газу при температуре и давлении на выходе в трубу, м³/ч; $w_{\text{вх}}$ – соответствующая скорость ($w_{\text{вх}}$ = 12-20 м/с).

Длина конфузора:

$$I_{K} = \frac{d_{K} - d_{\Gamma}}{2 \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_{1}}{2}\right)}$$

где α_1 – угол раскрытия конфузора ($\alpha_1 \sim 25\text{--}30^\circ$).

Диаметр выходного отверстия:

$$d_{\rm A} = 1.88 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{V_{_{\rm 2.6bix}}}{\rm w_{_{\rm Bbix}}}}$$
,

где $w_{\text{вых}}$ – скорость газа на выходе из трубы ($w_{\text{вых}}$ = 12,0 м/с).

Длина диффузора:

$$l_{\pi} = \frac{d_{\pi} - d_{r}}{2tg(\frac{\alpha_{2}}{2})}$$
, где α_{2} – угол раскрытия диффузора ($\alpha_{2} \sim 7^{\circ}$).

2.5. Очистка газов в электрофильтрах

В электрофильтрах очистка газов от пыли происходит под действием электрических сил. В камере электрофильтра располагаются отрицательно (коронирующие) и положительно (осадительные) заряженные электроды, к которым подводятся постоянный ток высокого напряжения. Запыленный газ движется в пространстве между электродами. При этом происходит ионизация молекул газа на отрицательно И положительно заряженные ионы. Отрицательно заряженные ионы, двигаясь в запыленном газе, сообщают частицам пыли свой заряд и увлекают их к осадительным электродам, где частицы отдают свой заряд и осаждаются.

Зарядка частиц в поле коронного разряда происходит по двум механизмам: под воздействием электрического поля (частицы бомбордируются ионами, движущимися в направлении силовых линий поля) и диффузией ионов. Первый механизм преобладает при размерах частиц более 0,5 мкм, второе менее 0,2 мкм. Для частиц диаметром 0,2 – 0,5 мкм эффективны оба механизма. Максимальная величина заряда частиц размером более 0,5 мкм пропорциональна квадрату диаметра частиц, а частиц размером 0,2 мкм – диаметру частицы.

Электроочистка включает процессы образования ионов, зарядки пылевых частиц, транспортирования их к осадительным электродам, периодическое разрушение слоя накопившегося на электродах пыли и сбросе ее в пылесборные бункеры.

По конструктивным особенностям электрофильтры различают по разным признакам:

- -по направлению хода газов на вертикальные и горизонтальные;
- -по форме осадительных электродов с пластинчатыми, С-образными,
- трубчатыми и шестигранными электродами;
- -по форме коронирующих электродов с игольчатыми, круглого или штыкового сечения;

- -по числу последовательно расположенных электрических полей на одно- и многопольные;
- -по расположению зон зарядки и осаждения на одно- и двухзонные;
- -по числу параллельно работающих секций на одно- и многосекционные.

Наиболее распространены электрофильтры с пластинчатыми и трубчатыми электродами. В пластинчатых электрофильтрах между осадительными пластинчатыми электродами натянуты проволочные коронирующие. В трубчатых электрофильтрах осадительные электроды представляют собой цилиндры (трубки), внутри которых по оси расположены коронирующие электроды.

Схема трубчатого электрофильтра представлена на рис. 8

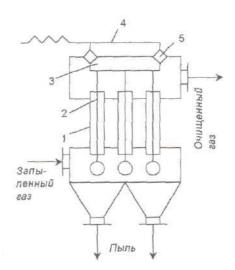


Рис. 8 Трубчатый электрофильтр:

1— осадительный электрод; 2- коронирующий электрод; 3— рама; 4— встряхивающее устройство; 5 — изолятор.

Запыленный газ движется по вертикальным трубам диаметром 200 – 250 мм. Пыль оседает на внутренней поверхности труб. При помощи встряхивающего устройства ее удаляют в бункер.

Электрофильтры очищают большие объемы газов от пыли с частицами размером от 0.01 до 100 мкм при температуре газов до 400 - 450°C. Гидравлическое сопротивление их достигает 150 Па. Затраты электроэнергии составляют 0.36 - 1.8 МДж на 1000 м³ газа.

Эффективность работы электрофильтров зависит от свойсв пыли и газа, скорости и равномерности распределения запыленного потока в сечении аппаратов и т.д. Чем выше напряженность поля и меньше скорость газа в аппарате, тем лучше улавливается пыль.

2.6. Улавливание туманов

Туманы образуются вследствие термической конденсации паров или в результате химического взаимодействия веществ, находящихся в аэродисперсной системе. Туманы образуются при производстве серной кислоты, термической фосфорной кислоты, при концентрировании различных кислот и солей, при испарении масел и др.

Для улавливания туманов применяют волокнистые и сеточные фильтрытуманоуловители и мокрые электрофильтры. Принцип действия волокнистых фильтров-туманоуловителей основан на захвате частиц жидкости волокнами при протекании туманов через волокнистый слой. При контакте с поверхностью волокна происходит коалесценция уловленных частиц и образование пленки жидкости, которая движется внутри слоя волокон и затем распадается на отдельные капли, которые удаляются с фильтра.

Достоинство фильтров: высокая эффективность улавливания (в том числе тонкодисперсных туманов), надежность в работе, простота конструкции, монтажа и обслуживания.

Недостатки: возможность быстрого зарастания при значительном содержании в тумане твердых частиц или при образовании нерастворимых солей вследствие взаимодействия солей жесткости воды с газами ($C0_2$, $S0_2$, HF и др.).

Перемещение уловленной жидкости в фильтре происходит под действием гравитационной, аэродинамических и капиллярных сил, оно зависит от структуры волокнистого слоя (диаметра волокон, пористости и степени однородности слоя, расположения волокон в слое), скорости фильтрации, смачиваемости волокон, физических свойств жидкости и газа. При этом, чем больше плотность упаковки слоя и меньше диаметр волокон, тем больше жидкости удерживается в нем.

Волокнистые туманоуловители разделяют на низкоскоростные И высокоскоростные. Те и другие представляют собой набор фильтрующих элементов. Фильтрующие элементы низкоскоростного туманоуловителя включают две соосно расположенные цилиндрические сетки из проволоки диаметром 3,2 мы, приваренные к дну и входному патрубку. Пространство между сетками заполнено тонким волокном диаметром от 5 до 20 мкм с плотностью упаковки 100-400 кг/м³ и толщиной слоя от 0,03 до 0.10 м. Волокна ИЗГОТОВЛЯЮТ ИЗ специальных стекол ИЛИ полипропилена, полиэфиров, поливинилхлорида, фторопласта и других материалов.

Фильтрующие элементы крепят на трубной решетке в корпусе колонны (до 50-70 элементов). Туманоуловители работают при скорости газа у. < 0,2 м/с и имеют производительность до 180000 м³/ч.

Высокоскоростные туманоуловители выполняются в виде плоских элементов, заполненных пропиленовыми войлоками. Их можно использовать для улавливания тумана кислот (H_2SO_4 , HCl, HF, H_3PO_4) и концентрированных щелочей. Войлоки выпускают из волокон диаметром 20, 30, 50 и 70 мкм.

Наиболее часто применяют двухступенчатые установки (с различными по конструкции фильтрами), которые могут быть двух типов. В установках первого типа головной фильтр предназначен для улавливания крупных частиц и снижения концентрации тумана. Второй фильтр служит для очистки от высокодисперсных частиц. В установках второго типа первый фильтр служит агломератором, в котором осаждаются частицы всех размеров, а уловленная жидкость выносится потоком газов в виде крупных капель, поступающих во второй фильтрбрызгоуловитель. В фильтрах-брызгоуловителях используются войлоки из 70 При скорости фильтрации 1.5—1.7 M/cволокон диаметром МКМ.

сопротивление составляет 0,5 кПа, а эффективность очистки для частиц более 3 мкм близка к 100%.

Фильтры для очистки аспирационного воздуха от частиц тумана хромовой и серной кислоты имеют производительность от 2 до 60 тыс. м³/ч. При скорости фильтрации 3-3,5 м/с эффективность очистки составляет 96-99,5%, сопротивление фильтров 150-500 Па.

Для улавливания масла разработаны фильтры с вращающимся цилиндрическим фильтрующим элементом, что обеспечивает эффективную и непрерывную регенерацию слоя от уловленного масла. Производительность таких фильтров от 500 до 1500 м³/ч, эффективность очистки составляет 85-94%.

Для очистки от грубодисперсных примесей брызг используют кап-леуловители, состоящие из пакетов вязаных металлических сеток, из легированных сталей, сплавов на основе титана и других коррози-онностойких материалов. Сетки (с диаметром проволоки 0,2-0,3 мм) гофрируют и укладывают в пакеты толщиной от 50 до 300 мм и в качестве сепараторов устанавливают в колонне. Для повышения эффективности улавливания тумана предусматривают две ступени сеточных сепараторов. Сепараторы эффективно работают при концентрации пара в газах не более 100-120 г/м³. Сетки могут быть изготовлены также из фторопласта и полипропилена.

Для улавливания тумана кислот применяют мокрые электрофильтры. По принципу- действия они не отличаются от сухих электрофильтров (см. выше). Например, электрофильтр КТ-7, применяемый для улавливания тумана серной кислоты, имеет по 144 коронирующих и осадительных электрода. Он работает при давлении 500 Па и температуре газа 160°C.

2.7. Рекуперация пылей

В зависимости от способа улавливания (сухие и мокрые), природы, количества, физико-химических свойств, концентрации потенциально полезного компонента, его токсичности, стоимости, перспектив последующей переработки и ряда других показателей существуют методы рекуперации, ликвидации и изоляции промышленных пылей Естественно, наиболее рациональным является рекуперация пылей.

Возможные пути использования промышленных пылей: 1) использование в качестве целевых продуктов; 2) возврат в производство, в технологии которого происходит образование данного вида пыли; 3) переработка в другом производстве с целью получения

товарных продуктов; 4) утилизация в строительных целях; 5) переработка с извлечением ценных компонентов; 6) сельскохозяйственное использование (в отдельных случаях в качестве удобрений); 7) утилизация в процессах, где используются отдельные физико-химические свойства (или совокупность таких свойств) пылевидных материалов. Рассмотрим некоторые примеры.

Использование пыли в качестве целевого продукта. Как правило, это откосится к технологии, направленной на специальное получение продукции в виде тонкодисперсного материала. Типичным примером такой технологии является производство сажи.

Сажу широко используют во многих отраслях промышленности: в резиновой и шинной (>90% всего производимого количества), лакокрасочной и др. Ее получают в процессе сжигания нефтепродуктов или горючих газов при недостатке воздуха (в коптящем пламени). Особенностью сажи является высокая дисперсность составляющих ее частиц (0,01-5,5 мкм) и их низкое удельное электрическое сопротивление. Плотность сажи находится в пределах 1750-2000 кг/м³, а ее насыпная плотность 40-300 кг/м³.В зависимости от способа производства сажи и ее сорта применяют различные схемы сажеулавливания из технологических газов сажевых производств.

На рис. 9 в качестве иллюстрации приведена схема очистки технологических газов в

- производстве форсуночной сажи. Такую сажу получают при сжигании жидких нефтепродуктов,
- распыляемых форсунками в реакторах при недостатке воздуха. Она характеризуется большой

дисперсностью: ее удельная поверхность составляет 25-35 лг/г. В газах, поступающих на очистку, содержание сажи составляет 80- $100~\text{г/m}^3$. Следует учитывать, что отходящие газы сажевого производства взрывоопасны и горючи.

Для выделения форсуночной сажи из технологических газов сажевого производства используют горизонтальные односекционные трехполочные электрофильтры типа СГ. Они имеют стальной корпус и снабжены взрывными клапанами для упразднения пиковых давлений при возникновении в системе "хлопков". Во избежание подсоса воздуха и образования взрывоопасных смесей электрофильтры СГ работают под избыточным давлением 50-100 Па. Наиболее устойчивый температурный диапазон их работы 180-230°С. Допустимое содержание кислорода в поступающих на очистку газах составляет < 1,3% (об.).

В электрофильтрах происходит частичная коагуляция взвешенных частиц, поэтому для улавливания образующихся агломератов используют ступень очистки, В качестве которой служат последовательно установленные циклоны. Степень очистки в первой ступени составляет 97%, во второй — 80%. В среднем остаточное содержание сажи в газах после электрофильтров находится в пределах 1,5-4,5 г/м³, после циклонов — 0,5-0,7 г/м³. После второй ступени очистки газы направляют на сжигание. Выделенную из газовой фазы сажу пневмотранспортом передают в цех обработки, где ее отвеивают от посторонних включений, пропускают через микроизмельчители и уплотнители, а затем гранулируют и в виде готовой продукции затаривают в мешки или барабаны.

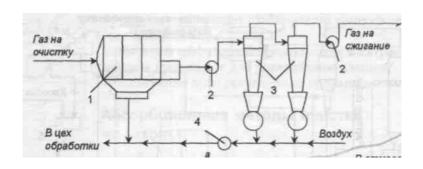


Рис. 9 Схема установок рекуперации пыли: а – рекуперации сажи из технологических газов производства форсуночной сажи: 1 – электрофильтр, 2 – дымосос, 3 – циклоны, 4 – ветилятор пневмотрансопртера.

Вопросы для повторения

- 1. Дайте характеристику основных свойств пылей. 2. Объясните: что такое фракционная и общая эффективности очистки газов от
- 3. Какие аппараты применяют для сухой очистки газов от пылей? Укажите их достоинства, недостатки и эффективность.
- 4. Какие аппараты применяют для сухой очистки газов от пылей? Укажите их достоинства, недостатки и эффективность.

5. Какие фильтры используют для тонкой очистки газов?

6. Какие аппараты применяют для мокрой очистки газов и какова их эффективность?

Глава 3. Абсорбционные методы очистки отходящих газов.

3.1. Очистка газов от диоксида серы.

Известняковые и известковые методы. Достоинством этих методов является простая технологическая схема, низкие эксплуатационные затраты, доступность и дешевизна сорбента, возможность очистки газа без предварительного охлаждения и обеспыливания.

На практике применяются известняки, мел, доломиты, мергели. Средний состав известняка, в %: SiO_2 — 5,19; TiO_2 — 0,06; $A1,O_3$ — 0,81; Fe_2O_3 + FeO — 0.54; MnO — 0.05; CaO — 42.61; MgO — 7.90; K_20 — 0.33; Na_20 — 0.05; $r^{\circ}O$ -0.76; C0₂—41,58; РД —0.04;. S — 0.09; S0₃— 0.05; Cl₂— 0.02. Доломит CaC0₃.MgC0₃ содержит, в %: CaO — 30,4; MgO — 21,7; C0₂ — 47,9. Мегрель — осадочная горная порода глинисто-карбонатного состава содержит, в %: $SiO_2 - 8.02-53.32$: $AI_2O_3-1.52-9.92$; $Fe_2O_3-0.44-3.30$; MgO -0.26-1.95; CaO -18,18-50,44; $S0_3$ -0,05-0,75.

Известь получают обжигом карбонатных пород при температуре 1100-1300°C.

Процесс абсорбции диоксида серы для известкового и известнякового методов представляется в виде следующих стадий:

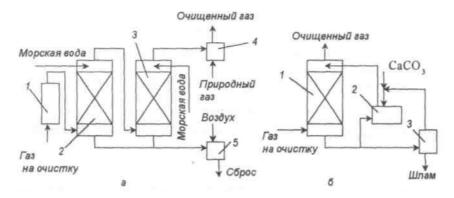


Рис. 10 Схемы установки абсорбции диоксида серы: a — морской водой: 1 — электрофильтр, 2, 3 — абсорберы, 4 — подогреватель, 5 — реактор; b — суспензией известняка: 1 — абсорбер, 2 — сборник, 3 — вакуум-фильтр

Нерекуперационные методы. Для приготовления суспензии применяется измельченный известняк с размером частиц 0,1 мм. Состав суспензии Т:Ж= 1:10. Предложено несколько схем очистки газов. Наиболее простая с образованием шлама показана на рис. 106

Абсорбер орошается суспензией с pH=6-6,2. Шлам из абсорбера частично поступает в циркуляционный сборник, куда подается свежий известняк, а частично направляется на отделение воды в центрифугу или на фильтр. Степень очистки достигает 85%. Коэффициент использования извести * 50%.

На электростанциях мощностью 1000 МВт ежегодно образуется шлама « 780 т/год на 1 МВт. Шлам содержит сульфит кальция и до 65% воды. Сульфит кальция мелкокристалличен, гигроскопичен и способен поглощать кислород. В нерекуперационных установках шлам захоранивают. Для этого суспензию сгущают до содержания твердой фазы 250-300 г/л, перекачивают насосом по трубам из полимерных материалов в накопитель шлама, затем подвергают захоронению.

Наметились некоторые пути переработки шлама. В США разработан процесс смешивания шлама с золой и спецдобавками. Смесь сушат; образующийся продукт является стабильным и инертным, находит применение в дорожном строительстве. Реакции в процессе сушки смеси аналогичны тем, которые протекают при схватывании цемента.

Производство сульфата кальция (гипса) из шлама состоит из следующих стадий; 1) корректировка рН раствора серной кислотой; 2) окисление сульфита в сульфат воздухом при повышенных давлениях; 3) отстаивание; 4) центрифугирование.

Сточные воды после отстаивания и центрифугирования представляют собой сильную кислоту. Их нейтрализуют гидроксидом кальция (известковым молоком) или раствором NaOH, затем фильтруют через грунт, освобождая от твердых частиц. Состав продукта в расчете на сухое вещество, в %:

CaSO₄-2H₂O — 95,0; CaSO₃— 6,8; CaCO₃ — 1,9; зола и другие компоненты — 2,3:

Окисление шлама экономически оправдано даже в тех случаях, когда выпуск товарного гипса не предусмотрен, так как скорость обезвоживания окисленного шлама значительно выше, чем не окисленного, что позволяет сократить затраты на оборудование. Предложены одноступенчатые и двухступенчатые схемы очистки с окислением сульфита кальция, содержащегося в шламе, в сульфат.

Одноступенчатая схема очистки газа с окислением сульфита кальция показана на рис. 11a

Для окисления в сборник подают воздух. Для завершения процессов кристаллизации циркулирующую жидкость выдерживают в сборниках. В результате шлам представляет смесь $CaSO_4-2H_2O$ и $CaSO_3$ 0,5 H_2O . Более глубокая очистка достигается на двухступенчатых установках (рис. 11б). Первая ступень орошается суспензией с рH = 4,5-5, вторая — рH = 6. Гипс отделяют на центрифугах или фильтрах. Он может содержать $CaSO_3O_5H_2O$. Для перевода сульфита в сульфат добавляют серную кислоту.

Недостатки известковых и известняковых методов следующие: происходит зарастание систем отложениями гипса, коррозия и эрозия оборудования, значительный брызгоунос из абсорберов, образование осадков.

Для устранения отложений CaSO₄ предусматривают: повышение отношения жидкость/газ с целью уменьшения пересыщения раствора сульфитом кальция; рециркуляцию твердого сульфата кальция с поглощающей жидкостью для образования центров кристаллизации; увеличение продолжительности выдерживания циркулирую щей жидкости вне абсорбера для завершения процессов кристаллизации; поддержание необходимого рН раствора с целью уменьшения степени окисления сульфита кальция в сульфат; пропускание раствора,

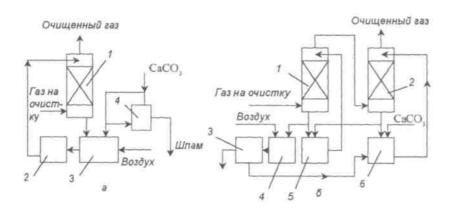


Рис. 11 Схемы установок для абсорбции диоксида серы суспензией известняка с окислением сульфита кальция: a — одноступенчатая: 1 — абсорбер, 2,3 — сборники, 4 — центрифуга, δ — двухступенчатая: 1,2 — абсорберы, 3 — центрифуга, 4—6 — сборники

содержащего кристаллы $CaSO_4$, через осадок сульфита кальция для уменьшения степени насыщения раствора по гипсу; добавление ионов $C1\sim \kappa$ жидкости, что повышает растворимость кальциевых солей и тем самым уменьшает зарастание аппаратов.

Устранение коррозии и эрозии материалов оборудования решается путем выбора соответствующих материалов и покрытий, например, использование различных сплавов, гуммирование и т. д. Брызгоунос снижается путем использования соответствующих брызго-уловителей.

Для повышения интенсивности массообмена газ — жидкость и уменьшения отходов в поглотитель добавляют ионы магния, хлора и карбоновых кислот. В присутствии этих ионов возрастает степень использования поглотителя, и тем самым сокращается количество тиксотропных шламов.

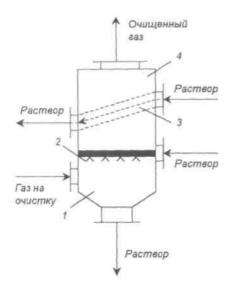
Введение иона Mg²⁺ в состав извести значительно меняет растворимость сульфита кальция, что приводит к росту коэффициента массопередачи и позволяет уменьшить отношение жидкость/газ в абсорбере и обеспечить степень использования извести 90%. Концентрация магния в циркулирующей суспензии должна быть строго определенной, так как избыток его приводит к образованию трудно-фильтруемой жидкости гидроксида магния Mg(OH)₂.

Механизм действия карбоновых кислот такой же, как и ионов магния. Они являются буфером, понижающим рН раствора до 4-5, что приводит к увеличению концентрации $S0_2$ на поверхности раздела фаз.

Требования, предъявляемые к кислотам, добавляемым к суспензии извести: константы их диссоциации должны быть в пределах 10⁻⁴-10⁻⁵; они должны быть

доступными (выпускаться промышленностью) и иметь низкую стоимость, хорошо растворяться в воде,

обладать вязким давлением паров (во избежание потерь).



Для Аппаратура. проведения процессов абсорбции диоксида серы используют различные ПО конструкции абсорберы. Они должны следующим требованиям: удовлетворять иметь эффективность высокие И пропускную способность по газу, низкое гидравлическое сопротивления (до 3 кПа) быть простыми по конструкции И удобными И эксплуатации, отличаться низкой металлоемкостью, не забиваться осадками, образующимися в процессе абсорбции.

Рис. 12 Абсорбер типа СМ:

- 1 секция очистки газа;
- 2 форсунка; 3 контактные тарелки
- 4 секция брызгоулавливания.

На практике больше всего используются пустотелые абсорберы с форсунками и скрубберы Вентури, одноступенчатые и двухступенчатые. Совершенствование их конструкций идет по пути создания аппаратов с минимальной внутренней поверхностью. Высокой эффективностью и простотой в эксплуатации обладает абсорбер типа СМ (рис.12), сочетающий полую секцию с форсунками и секцию с барботажными тарелками. Исследуются также абсорберы с подвижной шаровой насадкой из полиэтилена или резины. Перспективными являются и абсорберы с крупнодырчатыми тарелками.

3.2. Очистка газов от оксидов азота

Отходящие газы, содержащие оксиды азота, образуются в ряде производств химической промышленности, в процессах нефтеперегонки, при сжигании топлива.

Известны следующие соединения азота с кислородом: N_20 , N_20 , N_20_3 , $N0_2$, N_20_4 , N_20_5 , $N0_3$, N_20_6 . Оксид диазота N_20 при невысоких температурах не вступает в реакции. При высоких температурах разлагается на азот и кислород. Полная диссоциация наступает при 900 °C. Оксид азота N0 плохо растворим в воде, солях и органических соединениях. Однако с солями двухвалентного железа, меди, марганца, никеля и т. д. образует комплексные соединения, легко разрушаемые при нагревании. Диоксид азота $N0_2$ образуется в результате окисления оксида азота кислородом. С водой легко образует азотную кислоту. Триоксид азота N_20_3 существует только при низких температурах. В виде жидкости и пара он в значительной степени диссоциирован. Тетраоксид азота N_20_4 образуется полимеризацией диоксида азота и является сильным окислителем. Пентаоксид азота N_20_5 мало устойчив. Сильный окислитель.

На практике большей частью с отходящими газами выбрасываются N0 и $N0_2$ при их одновременном присутствии. Основная сложность абсорбционных процессов связана с низкой химической активностью и растворимостью оксида азота. Имеется несколько путей решения этой проблемы: 1) полное окисление N0 и $N0_2$ в газовой фазе;

- 2) частичное окисление N0 в $N0_2$, приводящее к образованию эквимолекулярной смеси N0 и $N0_2$;
- 3) использование селективных абсорбентов;
- 4) окисление в жидкой фазе или использование жидко-фазных катализаторов абсорбции и перевод N0 в химически активные соединения.

В промышленности используют метод гомогенного окисления N0 в газовой фазе кислородом. Процесс интенсифицируется добавлением кислорода в газовую фазу, но это связано с большим его расходом, так как только 1% кислорода вступает в реакцию с N0, а остальной выбрасывается в атмосферу. Скорость реакции окисления азота газообразным кислородом увеличивается в присутствии катализаторов. Наиболее активным из них является гопкалит (при температуре 120°C).

Интенсификация процессов окисления и абсорбции оксидов азота возможна также путем увеличения скорости окисления N0 в жидкой фазе в двух вариантах: окисление кислородом и озоном в жидкой фазе или одновременное окисление и поглощение жидкими окислителями. Скорость растворения газообразных окислителей (кислорода и озона) в жидкой фазе зависит от температуры, давления, концентрации компонентов, величины межфазной поверхности, турбулентности потоков и т.д. Растворение кислорода и озона в жидкой фазе является медленным процессом и лимитирует процесс окисления N0 в жидкой фазе. При использовании жидких окислителей стадия растворения не является лимитирующей.

Для процесса окисления N0 были изучены следующие окислители: H_2O_2 , $KMnO_4$, $KBrO_3$, HNO_3 , $(NH_4)_2Cr_2O_7$, $Na_2Cr_2O_4$, $K/^{\circ}O_{,}$. Из них наиболее активным окислителем оказался раствор $KBrO_3$, несколько меньшей окислительной активностью обладают HNO_3 , $KMnO_4$ и H_2O_2 .

Для абсорбции оксидов азота используют воду, растворы щелочей и селективные сорбенты, кислоты и окислители.

Абсорбция водой. При абсорбции диоксида азота водой в газовую фазу выделяется часть оксида азота, скорость окисления которого при низких концентрациях мала:

$$3NO_2+H_20=F==t2HNO_3+NO+Q.$$

Для утилизации оксидов можно использовать разбавленные растворы пероксида водорода с получением азотной кислоты:

$$4NH_3+6NO->5N.,+6H_20.$$

Серная кислота используется для поглощения $N0_2$ и N_20_3 с образованием нитрозилсерной кислоты:

$$H_2SO_4+2NO_2=NOHSO_4+HNO_3;$$

$$2H_2SO_4+N_2O_3 = 2NOHSO_4+H_2O$$
.

При нагревании нитрозилсерной кислоты или при разбавлении ее водой происходит выделение оксидов азота:

$$2NOHSO_4+H_2O = 2H_2SO_4+NO+NO_2$$
.

Взаимодействие оксидов азота с жидкими сорбентами наиболее эффективно протекает при 20-40°C.

Метод одновременной очистки газов от диоксида серы и оксидов азота. Отходящие газы, содержащие $S0_2+NOx$, образуются при сжигании сернистого топлива. Для их очистки применяют комплексные методы. Абсорбционные методы удаления NOx из-за низкой химической активности оксида азота включают те или иные стадии окисления или восстановления. Степень очистки в комплексных методах обычно составляет 90% от $S0_2$ и 70-90% от NOx. Одновременная очистка может проводиться щелочными растворами. При абсорбции растворами NaOH и Na_2C0_3 в качестве побочных продуктов образуются Na_2S0_4 NaC1, $NaN0_3$, $NaN0_2$, а при абсорбции $Ca(OH)_2$ — $CaS0_4$, $Ca(N0_3)_2$.

Окисление NO может быть проведено в газовой фазе полностью или частично — до образования эквимолярной смеси $NO+N0_2$. В жидкой фазе — при использовании жидкофазных катализаторов, например, этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТК) с добавками соединений двухвалентного железа, которые вводят в раствор едкого натра или сульфита натрия.

В ходе реакций оксиды серы и азота превращаются в имидоди-сульфонат и дитионат, которые затем переводят в аммиак, азот, сульфат натрия и гипс.

Метод может быть применен при очистке газов, образующихся при сжигании высокосернистых топлив.

Вариант процесса очистки с образованием сульфата аммония (процесс "Chisso Engineering") показан на рис. 1-32.

Топочные газы сначала очищают от пыли и хлоридов в скруббере, орошаемом водой. После этого газ подают в тарельчатый скруббер, орошаемый циркулирующей аммонизированной жидкостью, в состав которой входят ионы железа и ЭДТК. При контактировании жидкости и газа поглощается 70-85% NOx и 90% SO₂. Часть жидкости после скруббера отводят на окисление, которое проводят, барботируя через раствор бисульфата аммония атмосферный воздух. Продукты реакции подкисляют серной кислотой до pH=0.5, затем охлаждают в холодильнике до 0 — (-10)°C, что позволяет кристаллизовать 90% ЭДТК. Ее отделяют от раствора в центрифуге и скруббер. возвращают Содержащийся маточной жидкости имидодисульфонат аммония и дитионат разлагают при нагревании до 120-130°С и при давлении 0,3 МПа до сульфата аммония. Выделяющийся диоксид серы направляют в основной скруббер. Затем жидкость нейтрализуют аммиаком, концентрируют, освобождают от соединений железа и направляют на кристаллизацию сульфата аммония. Сульфат аммония может использован в качестве удобрения.

Возможны модификации этого процесса, исключающие вывод сульфата аммония, с рекуперацией аммиака. По одному из вариантов, образовавшийся сульфат аммония обрабатывают известью, в результате получается аммиак и гипс. По другому' варианту его термически разлагают до бисульфита аммония и аммиака. Затем бисульфит обрабатывают элементной серой с образованием диоксида серы и аммиака. Диоксид серы в среде сероводорода конвертируют в серу. Весь аммиак возвращают в скруббер.

Для процесса очистки возможно использование натриевых солей в присутствии ЭДТК и солей железа. Степень очистки в этом случае составляет 80-90~% от NO_x и 90% от SO_2 . Образующийся сульфат натрия обрабатывают сульфитом кальция и диоксидом серы, получая гипс и регенерируя ионы

натрия. В качестве поглотителя $SO_2 + NO_2$ можно также использовать оксид магния с получением гипса и нитрата кальция

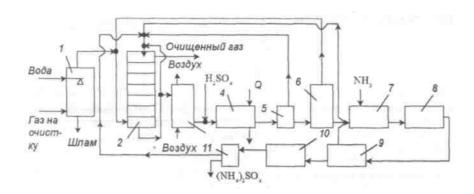


Рис. 1-32. Схема установки очистки газов от оксидов азота и серы с получением сульфата аммония: 1— пылеуловитель; 2 — тарельчатый скруббер; 3 — реактор окисления; 4 — холодильник; 5 — центрифуга; 6 — реактор; 7 — нейтрализатор; 8 — конденсатор; 9 — узел отделения железа; 10 — кристаллизатор; 11 — центрифуга

Глава 4. Адсорбционные и хемосорбционные методы очистки отходящих газов

Адсорбционные методы используют для очистки газов с невысоким содержанием газообразных и парообразных примесей. В отличие от абсорбционных методов они позволяют проводить очистку газов при повышенных температурах.

Целевой компонент, находящийся в подвергаемой очистке газовой фазе, называют *адсорбтивом*, этот же компонент в адсорбированном состоянии — *адсорбатом*.

Различают физическую и химическую адсорбцию (хемосорбцию). При физической адсорбции поглощаемые молекулы газов и паров удерживаются силами Ван-дер-Ваальса, при хемосорбции — химическими силами.

В качестве адсорбентов используют пористые материалы с высокоразвитой внутренней поверхностью. Последние могут иметь синтетическое или природное происхождение.

наиболее Внутренняя структура распространенных на практике промышленных адсорбентов характеризуется наличием различных размеров и форм пустот или пор, среди которых различают макро-, переходные (мезо-) и микропоры. Суммарный объем последних в единице массы или объема адсорбента определяет решении задач газоочистки (интенсивность) поглощения целевого компонента, так и адсорбционную способность (величину адсорбции) твердым поглотителем этого компонента.

К основным типам промышленных адсорбентов относятся активные угли, силикагели, алюмогели (активный оксид алюминия), цеолиты и иониты.

Активные угли характеризуются гидрофобностью (плохой сорбируемостью полярных веществ, к которым принадлежит и вода). Это свойство определяет широкое их использование в практике рекуперационной и санитарной очистки отходящих газов разнообразной влажности.

Для адсорбции газов и паров используют микропористые гранулированные активные угли. С этой целью промышленность России выпускает в настоящее время следующие марки газовых и рекупера-ционных активных углей: АГ-2, СКТ, АР, СКТ-3, АРТ. Угли АГ-2 (марок А и Б) и АР (марок АР-А, АР-Б, АР-В) получают из каменноугольной пыли и смолы методом парогазовой активации. Уголь СКТ синтезируют из торфа, а угли СКТ-3 и АРТ (марок АРТ-1 и АРТ-2) — из торфа и каменноугольной пыли методом химической активации. Угли АГ-2 предназначены для адсорбции газов, уголь СКТ — для улавливания паров органических веществ, угли АР, СКТ-3 и АРТ — для очистки газов от паров летучих растворителей. Активные угли для газоочистки характеризуются объемом микропор в пределах 0,24-0,48 см³/г при суммарном объеме пор 0,52-1,00 см³/г, гравиметрическая плотность их гранул составляет 0,3-0,6 г/см³. Теплоемкость сухого угля — 0,84 кДж/(кг-К), теплопроводность при 30°С — 0.17 — 0,28 Вт/(мК).

Активные угли производят в виде цилиндрических гранул диаметром 1-6 мм и длиной, обычно превосходящей поперечный размер гранул, и чаще всего

применяют в виде стационарного слоя, через который фильтруют подлежащий очистке газовый поток. В соответствии с действующими стандартами и технологическими условиями размер поперечника гранул углей может изменяться в определенных пределах. В этой связи в отдельных случаях с целью интенсификации соответствующих процессов гранулированные угли перед использованием подвергают дроблению и классификации с выделением необходимых узких фракций. Существенными недостатками активных углей являются относительно невысокая механическая прочность и горючесть.

Значительный интерес применительно к решению задач газоочистки в последнее время вызывают такие нетрадиционные углеродные адсорбенты, как активные угли из полимерных материалов,

молекулярно-ситовые активные угли и активированные углеродные волокна.

Производимые из полимерных материалов активные угли характеризуются развитой системой микропор с диаметром $(1-1,5)-10^{-9}$ м, более регулярной структурой, обеспечивающей определенное улучшение прочностных характеристик, и повышенной адсорбционной активностью при низких содержаниях целевых компонентов в очищаемых газах.

Молекулярно-ситовые активные угли отличаются высокой однородностью микропористой структуры и обладают микропорами еще более узких размеров $[(0,4-0,7)\cdot 10^{-9} \text{ M}]$, имеющих тот же порядок, что и размеры молекул. Перспективным направлением их использования полагают очистку влажных газов.

Активированные углеродные волокна представляют собой изготовляемые из синтетических волокон микропористые адсорбенты с широкой гаммой физических форм продукции на их основе (путанка, нетканые изделия, войлок, ткань и другие материалы), обеспечивающей разнообразность аппаратурного оформления соответствующих процессов газоочистки. Наряду с высокой термохимической стойкостью и хорошими поглотительными и фильтрующими свойствами волокнистые углеродные адсорбенты ввиду весьма малых диаметров волокон, составляющих (0,6-1,0)-Ю-5 м, характеризуются повышенными скоростями адсорбционно-десорбционных процессов.

Силикагели по своей химической природе представляют собой гидратированные аморфные кремнеземы ($Si0_2nH_20$), являющиеся реакционно-способными соединениями переменного состава, превращения которых происходят по механизму поликонденсации:

$$nSi(OH)_4 ---- Si.O_{2n+m} + (2n-m)H_20.$$

Поликонденсация ведет к формированию структурной сетки сфероподобных частиц коллоидных размеров (2 10¹⁹ - 210¹⁸ м), сохраняющейся при высушивании гидрогеля кремневой кислоты и образующей жесткий кремнекислородный каркас. Зазоры между частицами образуют пористую структуру силикагеля. Для получения силикагелей в промышленности обычно используют метод осаждения аморфного кремнезема из силикатов щелочных металлов минеральными кислотами. Вытекают силикагель в виде шариков, таблеток или кусочков неправильной формы. Размеры их зерен составляют от 0,1 до 7,0 мм. Адсорбционные и химические свойства силикагелей существенно зависят от наличия на их поверхности групп =Si—OH.

По характеру пористой структуры силикагели классифицируют на крупно-, средне- и мелкопористые, к которым относят кусковые и гранулированные материалы, характеризующиеся средним радиусом пор. составляющим соответственно $\sim 5 \cdot 10^{-9}$, $(5-1,5)-10^{-9}$ и $(1,5-1,0)-10^{-9}$ м. По размеру зерен кусковые силикагели широкого использования делят на 4 марки (7,0-2,7; 3,5-1,5; 2,0-0,25; 0,5-0,2 мм), а гранулированные — на 2 марки (7,0-2,7 и 3,5-1,0 мм). Для их обозначения используют буквенные сочетания: КСК — крупный силикагель крупнопористый, КСС — крупный силикагель среднепористый, МСМ — мелкий силикагель мелкопористый и т. п. Средние фракции силикагелей называют шихтой и обозначают соответственно как ШСК, ШСС и ШСМ. Гранулированный мелкопористый силикагель содержит 4-10% А1,,03 в качестве добавки, предупреждающей растрескивание его гранул.

Объем пор силикагелей составляет 0,3-1,2 см³/г, их удельная поверхность находится в пределах 300-750 м²/г, а гравиметрическая плотность заключена в интервале 0,4-0,9 г/см³. Последний показатель может Служить косвенной характеристикой пористой структуры силикагелей: для мелкопористых

силикагелей он составляет 0,7-0,8 г/см³, а для крупнопористых — 0,4-0,5 г/см³. Теплоемкость силикагелей — 0,92 кДж/(кг-К), теплопроводность при 30°C равна 0,11 кДж/(м·ч·К).

Силикагели служат для поглощения полярных веществ. Мелкопористые силикагели используют для адсорбции легкоконденсируемых паров и газов. Крупнопористые и частично среднепористые силикагели служат эффективными поглотителями паров органических соединений. Высокое сродство поверхности силикагелей к парам воды обусловливает широкое их использование в качестве агентов осушки разнообразных газовых сред. Силикагели не горючи и характеризуются низкой температурой регенерации (110-200°С) и достаточно высокой механической прочностью. В то же время они разрушаются под действием капельной влаги, что необходимо учитывать при их использовании в системах газоочистки.

Алюмогель (активный оксид алюминия $A1,0_3$ п H_20 , где 0<п<0,6) получают прокаливанием различных гидроксидов алюминия. При этом в зависимости от типа исходного гидроксида, наличия в нем оксидов щелочных и щелочно-земельных металлов, условий термической обработки и остаточного содержания влаги получают различные по структуре типы алюмогеля. Его промышленные сорта обычно содержат у- $A1_20_3$ и реже $Z-A1_20_3$ и другие модификации $A1_20_3$. Их щелевидные или бутылкообразные поры образованы первичными кристаллическими частицами размером

(3-8)- $10\sim^9$ м.

Основные марки выпускаемого отечественной промышленностью активного оксида алюминия представляют собой цилиндрические гранулы диаметром 2,5-5,0 мм и длиной 3-7 мм, а также шариковые гранулы со средним диаметром 3-4 мм. Удельная поверхность алюмогелей составляет 170-220 м²/г, суммарный объем пор находится в пределах 0,6-1,0 см³/г, средний радиус пор и гравиметрическая плотность гранул цилиндрической и шариковой формы составляют соответственно (6-10)-Ю-9 и (3-4)10~9м и 500-700 и 600-900 кг/м³. В отличие от силикагелей алюмогели стойки к воздействию капельной влаги. Их используют для улавливания полярных органических соединений и осушки газов.

Цеолиты представляют собой алюмосиликаты, содержащие в своем составе оксиды щелочных и щелочно-земельных металлов и характеризующиеся регулярной структурой пор, размеры которых соизмеримы с размерами молекул, что определило и другое их название — "молекулярные сита". Общая химическая формула цеолитов

$$Me_{2/n}O \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$$
,

где Me — катион щелочного металла, n — его валентность.

Кристаллическая структура (алюмосиликатный скелет) цеолитов образована тетраэдрами SiO₄ и A1O₄, их избыточный отрицательный заряд компенсирован положительным зарядом катионов соответствующих металлов. Катионы цеолитов в определенных условиях их обработки могут замещаться на соответствующие катионы контактаруемых с ними растворов, что позволяет катионообменники. Поглошение рассматривать цеолиты как вешества происходит в основном в адсорбционных полостях цеолитов, соединяющихся друг с другом входными окнами строго определенных размеров. Проникать через окна могут лишь молекулы, критический диаметр которых (диаметр по наименьшей оси молекулы) меньше диаметра входного окна.

Цеолиты получают синтетическим путем и добывают при разработке природных месторождений. Среди многих десятков различных синтетических цеолитов в решении задач газоочистки в основном используют производимые в промышленных масштабах цеолиты общего назначения марок NaA, CaA, CaX, NaX, характеризующиеся диаметром входного составляющим окна, ангстремах $(1A=10\sim^9 \text{м})$ соответственно 4, 5, 8 и 9. Первый индекс марки цеолита характеризует его обменный катион. Второй индекс обозначает тип кристаллической решетки цеолита — А или Х, причем цеолиты с решеткой типа Х характеризуются входными окнами большего размера, чем таковые с решеткой типа А. Синтетические цеолиты выпускаются промышленностью в виде цилиндрических и шарообразных гранул, диаметр которых обычно составляет 2-5 мм, производимых с применением связующего материала (10-20% глины) или без него (в последнем случае механическая прочность гранул выше).

Цеолиты обладают наибольшей адсорбционной способностью по парам полярных соединений и веществ с кратными связями в молекулах.

Цеолит NaA может адсорбировать большинство компонентов промышленных газов, критический диаметр молекул которых не превышает 410^9 м. К таким веществам относятся H_2 S, CS_2 , CO_2 , NH_3 , низшие диеновые и ацетиленовые углеводороды, этан, этилен, пропилен, органические соединения, содержащие в молекуле одну метальную группу, а при низких температурах сорбции также CH_4 , Ne, Ar, Kr, Xe, O_2 , N,,, CO. Пропан и органические соединения с числом атомов утлерода в молекуле более трех этим цеолитом не адсорбируются.

Цеолит СаА характеризуется повышенной стойкостью в слабокислой среде, что предопределяет возможность его использования в процессах декарбонизации и сероочистки газов. Этот цеолит способен адсорбировать углеводороды и спирты нормального строения.

Цеолиты типа X адсорбируют все типы углеводородов, органические сернистые, азотистые и кислородные соединения, галоидозамещенные углеводороды, пента- и декаборан. При полном замещении катиона натрия на катион кальция цеолит CaX в отличие от цеолита NaX не адсорбирует ароматические углеводороды и их производные с разветвленными радикалами.

Из природных цеолитов, в том числе высококремнистых кислотостойких форм, известны клиноптилолит, морденит, эрионит. Содержание собственно цеолитов в некоторых месторождениях достигает 80-90%, а в отдельных случаях превосходит и эти величины. С разрабатываемых месторождений природные цеолиты поступают в виде образованных зернами неправильной формы фракций определенных размеров, получаемых дроблением и последующей классификацией соответствующих цеолитсодержащих пород. Однако присутствие в природных цеолитах различных примесей и сопутствующих пород, а также трудность обогащения сдерживают сколь-либо значительное их использование для решения задач очистки отходящих газов в промышленных условиях.

Цеолиты, так же как силикагели и активный оксид алюминия, характеризуются значительной сорбционной способностью по парам воды. Наряду с этим цеолиты отличаются сохранением достаточно высокой активности по соответствующим целевым компонентам при относительно высоких (до 150-250°C) температурах. Однако по сравнению с другими типами

промышленных адсорбентов они имеют относительно небольшой объем адсорбционных полостей, вследствие чего характеризуются сравнительно небольшими предельными величинами адсорбции. Гравиметрическая плотность синтетических цеолитов составляет 600-900 кг/м³.

Иониты — высокомолекулярные соединения — пока еще не нашли широкого применения для очистки отходящих газов промышленности. Однако проводятся исследования по извлечению из газов кислых компонентов (оксидов серы и азота, галогенов и т. п.) на анионитах и щелочных — на катионитах (подробнее о свойствах ионитов см. разд. 8.4)

4.4. Адсорбция паров летучих растворителей

Рекуперация органических растворителей имеет как экономическое, так и экологическое значение, поскольку' потери их с выбросными газами весьма 1993 велики: В Γ., например, В атмосферу России было выброшено 1,6 млн. т летучих органических растворителей и 2,5 млн. т других углеводородов. Выбросы паров растворителей проиходят при их хранении при И использовании В технологических процессах. Для их рекуперации наибольшее распространение получили методы адсорбции. Улавливание паров возможно любыми мелкопористыми адсорбентами: активными углями, силикагелями, алюмогелями, цеолитами, пористыми стеклами И Т.Π. Однако активные угли, являющиеся гидрофобными адсорбентами, наиболее предпочтительны для относительной решения этой задачи: при влажности паровоздушных или парогазовых потоков до 50% влага практически не влияет на Рентабельность растворителей. сорбируемость органических паров адсорбционных установок с использованием активных углей зависит от концентрации в очищаемых газах паров летучих органических растворителей. Наименьшие концентрации (С) растворителей в очищаемом воздухе, при которых обеспечивается рентабельность рекуперационных установок, приведены ниже:

Растворитель,	C , Γ/M^3	Растворитель,	C , Γ/M^3
Ацетон	3,0	Метиленхлорид	2,0
Бензин	2,0	Сероуглерод	6,0
Бензол	2,0	Тетрахлоруглерод	4,5
Бутилацетат	1,5	Толуол	2,0
Ксилол	2,1	Трихлорэтилен	1,8
Метилацетат	2,1	Этиловый спирт	1,8

Поглощение паров летучих растворителей можно проводить в стационарных (неподвижных), кипящих и плотных движущихся слоях поглотителя, однако в производственной наиболее практике распространенными являются рекуперационные установки со стационарным слоем адсорбента, размещаемым вертикальных, горизонтальных или кольцевых адсорберах. вертикального типа обычно используют при небольших потоках подлежащих очистке паровоздушных (парогазовых) смесей, горизонтальные и кольцевые аппараты служат, как правило, для обработки таких смесей при высоких (десятки и сотни тысяч кубометров в час) скоростях потоков. Рекуперационные установки с адсорберами периодического действия (со стационарным слоем адсорбента) работают по трем технологическим циклам: четырех-, трех- и двухфазному.

Четырехфазный цикл включает последовательно фазы адсорбции, десорбции, сушки и охлаждения. Адсорбцию проводят на активных углях. При десорбции из насыщенного адсорбента острым паром удаляют адсорбированный растворитель. При сушке нагретым воздухом из адсорбента вытесняют влагу, накапливающуюся в нем в фазе десорбции при конденсации части острого пара. Нагретый и обезвоженный поглотитель охлаждают атмосферным воздухом.

Трехфазный цикл имеет отличие от четырехфазного в том, что исключается одна из последних фаз четырехфазного цикла, например, процесс охлаждения адсорбента как самостоятельная фаза: слой поглотителя охлаждают при адсорбции отработанным (очищенным от паров растворителя) воздухом. Может исключаться и фаза сушки. В этом варианте после адсорбции производят

нагрев насыщенного адсорбента горячим инертным газом с отводом паровой смеси в конденсатор. Такой процесс десорбции завершают затем продувкой слоя угля водяным паром. В последующей фазе охлаждения поглотитель обрабатывают холодным воздухом. Фазу СУШКИ как самостоятельную стадию обычно исключают, если после десорбции адсорбент имеет относительно НИЗКУЮ влажность. В этом случае в фазе охлаждения достигается полная регенерация адсорбента.

Двухфазный цикл включает две стадии (операции): адсорбцию и десорбцию. При этом процесс адсорбции совмещают с сушкой и охлаждением поглотителя. С этой целью определенное время паровоздушную смесь подают в слой в нагретом состоянии (50-60°С), а затем без подогрева, либо в течение всей фазы адсорбции паровоздушную смесь подают в слой при одинаковой температуре (до 35°С).

Выбор ТОГО цикла работы рекуперационной установки ИЛИ иного определяется характером подлежащих улавливанию растворителей, ИХ содержанием в исходной паровоздушной смеси, особенностями и техникоэкономическими возможностями производства, В технологии которого происходит образование паров летучих растворителей. Считают, что при концентрациях паров летучих растворителей в относительно высоких паровоздушных (до 50% нижнего концентрационного смесях взрываемости) рационально использовать четырехфазный цикл, в случае средних и малых концентраций (2-3 г/м³) целесообразнее применять трехфазный цикл (с исключением фазы охлаждения). Двухфазный цикл с адсорбцией паров из паровоздушной смеси при одинаковой температуре (до 35°C) может быть принят для рекуперации не смешивающихся с водой растворителей, а двухфазный цикл с подогревом паровоздушной смеси до 50-60°C нерационален в связи с работой поглотителя в этих условиях с пониженной активностью.

С целью гарантирования непрерывности рекуперационного процесса установка улавливания паров летучих растворителей должна включать как минимум два адсорбера периодического действия (обычно их число составляет от 3 до 6 и более).

Во избежание потерь растворителей с прошедшими очистку (отработанными, выхлопными) потоками процесс адсорбции можно проводить путем передачи паровоздушной смеси, прошедшей основной адсорбер, в последовательно включаемый дополнительный адсорбер. В этом случае каждый из этих двух адсорберов последовательно играет роль головного или хвостового аппарата. Такой прием несколько увеличивает расходы на транспорт паровоздушной смеси, но в ряде случаев окупается снижением потерь улавливаемых растворителей.

Периодичность переключения адсорберов рекуперационной установки на ту или иную фазу технологического цикла определяется графиком ее работы.

На рис. 1-39 в качестве примера представлена схема адсорбционного отделения работающей по двухфазному циклу установки улавливания паров органических растворителей из паровоздушных смесей, образующихся при окраске кож нитроэмалями.

В соответствии с этой схемой паровоздушную смесь с содержанием паров растворителей (бутилацетат, бутиловый спирт, толуол или бензол, этиловый спирт, ацетон) 5-6 г/м³ вентилятором через калориферы подают в адсорберы, заполненные активным углем АР-3, очищают в них и выбрасывают в атмосферу через выхлопную трубу. В начале процесса поглощения паровоздушную смесь в течение 2 ч подают в слой горячего и влажного поглотителя подогретой до 50-60°С, в течение последующего времени нагрев не производят (процесс насыщения длится 8-12 ч). Таким образом, параллельно с поглощением паров растворителей из очищаемой паровоздушной смеси в течение первой фазы этого цикла проводят высушивание и охлаждение поглотителя. По окончании адсорбции поглощенные растворители удаляют из угля острым паром. В течение этой второй фазы цикла температуру в адсорбере поддерживают между 115 и 118°С. Десорбцию прекращают при достижении плотности дистиллята, образующегося в конденсаторе, равной 0,966 г/см³. Дистиллят (конденсат) из конденсатора через разделитель фаз и расслаиватель передают в хранилище, откуда часть продукта возвращают непосредственно производство, а часть перекачивают в отделение ректификации для дальнейшей переработки.

Развитие адсорбционного метода рекуперации паров летучих растворителей в мировой практике идет в основном по двум направлениям. Одно из них связано с аппаратурным

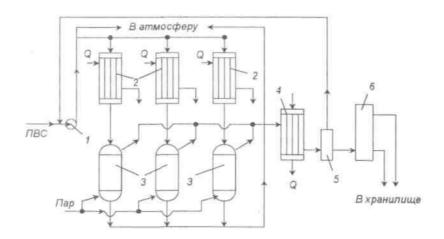


Рис. 1-39. Схема адсорбционного отделения установки улавливания паров органических растворителей из паровоздушных смесей процессов окраски кож нитроэмалями: 1 — вентилятор; 2 — калориферы; 3 — адсорберы; 4 — конденсатор; 5 — разделитель фаз; 6 — расслаиватель оформлением рекуперационных установок, другое — с углеродными поглотителями паров летучих растворителей.

В последнее время большое внимание уделяется непрерывно действующим установкам с движущимся плотным и псевдоожиженным слоем адсорбента. К преимуществам таких установок относят достаточно высокие скорости обрабатываемых потоков, обусловливающие компактность оборудования; высокий коэффициент использования адсорбентов; отсутствие энергозатрат на периодическое нагревание и охлаждение одного и того же аппарата; возможность сравнительно простой и полной автоматизации и простоту обслуживания.

Описан ряд оригинальных решений, касающихся конструктивных особенностей адсорбционной аппаратуры. В частности, предложены различные варианты изготовления адсорбера в виде вращающегося барабана, снабженного перегородками, делящими его на секции. Последние заполнены активным углем и при вращении барабана последовательно проходят зоны адсорбции и регенерации, обеспечивая непрерывность процесса. Имеется ряд конструкций, в которых используется гранулированный активный уголь в виде тонкого слоя,

размещаемого между двумя полотнами эластичного гибкого и пористого материала (например, полиуретана). Поперечное по отношению к газовому потоку перемещение "ленты-сэндвича" обеспечивает непрерывность процесса очистки. Имеются и другие конструктивные решения адсорберов.

Большое внимание в последние годы уделяется и углеродным материалампоглотителям: расширяется их сырьевая база, ведутся работы, преследующие своей целью получение высокоактивных и износостойких гранулированных активных углей широко исследуются и уже находят практическое применение в промышленности различные тканые и нетканые материалы на основе углеродных активных волокон, например установки с фильтрами, основ}которых, составляет активное угольное волокно, получаемое на базе целлюлозных волокон.

Преимущества использования активных углеродных волокон перед гранулированными активными углями состоят в возможности обеспечения повышенной степени рекуперации растворителей (обычно выше 99%); существенном снижении потерь растворителей, связанных с термическим разложением последних в присутствии углеродных адсорбентов, и, следствие, повышении количества рекуперата; применимости для рекуперации полимеризующихся мономеров и растворителей с высокой температурой кипения; пониженной пожаро- и взрывоопасное; компактности адсорбционной аппаратуры даже с неподвижным слоем активных углеродных волокон.

Для осуществления непрерывного процесса предложены адсорберы, в которых полотно ткани движется перпендикулярно движению газа. Ткань сматывается в рулон, что обеспечивает возможность ее периодической регенерации с получением концентрированного потока десорбата. Эти же цели могут быть достигнуты и при использовании адсорбера, снабжаемого располагаемыми В несколько параллельных рядов вертикальными полотнищами, состоящими из активного углеродного и другого, более прочного волокна. Через зазоры между их поверхностями протекают парогазовую смесь (адсорбционная способность ткани из активного углеродного волокна не зависит от направления очищаемого парогазового потока).

С целью достижения более глубокой очистки обрабатываемых потоков от паров летучих растворителей используют комбинированные методы, сочетающие различные процессы.

4.9. Очистка газов от паров ртути

Загрязнение атмосферы ртутью происходит при выбросе газов предприятиями цветной металлургии, теплоэнергетики, химической и других отраслей промышленности. В отходящих газах ртуть и ее соединения могут находиться в виде паров и аэрозолей, а также в составе некоторых пылей (в адсорбированной или растворенной форме). Концентрация ртути изменяется в широких пределах. Существенные различия в составе и объемах ртуть содержащих отходящих газов определяют значительное число предложенных очистки методов, которые условно разделяют физические на (конденсационные, абсорбционные, улавливания аэрозолей) и химические (хемосорбционные, газофазные).

Для предварительной очистки концентрированных по ртути газов обычно используют физические методы c последующей глубокой очисткой индивидуальными И комбинированными химическими методами. Хемосорбционные жидкостные методы применяют при необходимости удаления из концентрированных газов сложного состава наряду с ртутью некоторых других компонентов, особенно таких, очистка от которых сухими методами затруднена или невозможна, и обычно ограничивают небольшими объемами обрабатываемых газовых потоков. При необходимости глубокой демеркуризации значительных объемов отходящих газов наиболее часто используют адсорбционные методы. Однако промышленные адсорбенты, за исключением активных углей, весьма редко используют для демеркуризации отходящих газов.

Обработка сухих ртутьсодержащих газовых потоков немодифицированными активными углями часто осложнена присутствием в них диоксида серы, который дезактивирует адсорбент, резко снижая его поглотительную способность в отношении ртути. Однако при наличии в

очищаемых газах кислорода и паров воды в адсорбенте интенсивно идет процесс окисления сорбируемого диоксида серы:

$$SO_2 + H_2O + 0,5O_2 = H_2SO_4$$

Образующаяся кислота взаимодействует с серная парами ртути HgSO₄, образованием что обеспечивает возможность эффективной демеркуризации обрабатываемых газов. В этой связи рационально подвергать очистке влажные газы (относительная влажность 40-100%) с высоким содержанием диоксида серы — на два-три порядка больше содержания ртути. Остаточная концентрация в газах ртути в этих условиях может достигать » 0,0075 мг/м³. Использование термической (450°C) десорбции под вакуумом в 46.6 кПа (350 мм рт. ст.) обеспечивает в течение 60 мин 97%-ю регенерацию угля и возможность его повторного использования. Возможны и иные приемы регенерации, в частности, путем обработки насыщенного адсорбента осущенным 100%-м диоксидом серы.

Используемые для демеркуризации отходящих газов активные угли часто предварительно модифицируют путем их обработки различными сульфатирующими, галоидирующими, сульфидирующими и другими реагентами: серной кислотой, хлоридами железа и ртути, серой, сульфидами металлов и т. п.

На этом принципе основан способ санитарной очистки от паров ртути вентиляционных выбросов производства витамина В, (рис. 1-49).

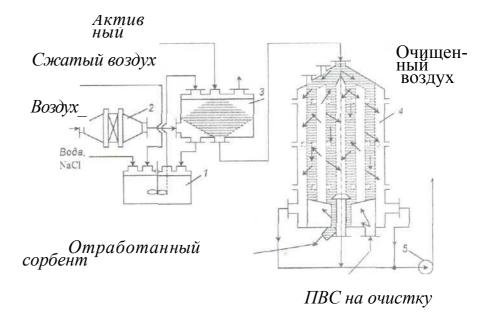


Рис. 1-49. Схема адсорбционной установки демеркуризации вентиляционных выбросов: I — смеситель; 2 — калорифер; 3 — реактор; 4 — адсорбер; 5 — вентилятор

Адсорбент готовят в реакторе путем обработки активного угля типа AP водным раствором хлорида натрия, приготовляемым в смесительной емкости, с последующей его подсушкой горячим воздухом, поступающим из калорифера. Модифицированный таким образом адсорбент через верхний люк загружают в концентрические пространства — полости цилиндрического адсорбера, образуемые перфорированными вертикальными кольцевыми стенками, и подлежащие очистке отходящие газы фильтруют через располагающиеся в них слои гранулированного угля. В результате химического взаимодействия с хлоридом натрия пары ртути связываются и удерживаются адсорбентом. По насыщении ртутью поглотитель выгружают из адсорбера и содержащуюся в нем ртуть рекуперируют пирометаллургическим методом.

При обработке 40 тыс. м³/ч вентиляционных выбросов с концентрацией ртути 0.13 мг/м³ 5,5 т загруженного в адсорбер модифицированного угля (содержание NaCl 3-5%, толщина слоя 0.2 м, поверхность фильтрации 40 м²) обеспечивают степень очистки 99.0±1,0% при скорости фильтрации газа 0.28 м/с, общем сопротивлении установки не более 1 кПа и сроке службы угля более полутора лет

Наряду с активными углями в качестве носителей для хемосорбентовимпрегнатов могут быть использованы и другие адсорбенты (силикагели, цеолиты, глинозем) и вещества

с высокоразвитой поверхностью (пемза, оксид магния, кремнезем и др.). а также различные волокнистые волокнистые материалы. При очистке значительных объемов ртуть содержащих газовых выбросов на ряде производств используют дробленую (размер зерен 4-15 мм) марганцевую руду (пиролюзит). Очистка основана на проходящей на поверхности зерен реакции:

$$2Hg + MnO2 = Hg2 + MnO2$$

При наличии в очищаемых газах кислорода и диоксида серы одновременно образуются сульфаты марганца и ртути. Поскольку в газовых выбросах некоторых производств (например, в отходящих газах ртутных заводов) содержание диоксида серы значительно выше, чем ртути, с целью направленного использования пиролюзита перед контактом с ним газы очищают от диоксида серы (обычно известковым молоком). После удаления основного количества диоксида серы газы подогревают до 50-70°С с целью предупреждения конденсации находящейся в них влаги и контактируют с пиролюзитом. Демеркуризованные газы эвакуируют в атмосферу.

Насыщенный ртутью пиролюзит после выгрузки из адсорбера подвергают обработке в ротационных грохотах с целью разрушения и отсева ртутьсодержащего поверхностного слоя его зерен. Отсев с содержанием 1-2% ртути с целью извлечения последней обжигают вместе с исходной ртутьсодержащей рудой и повторно используют для газоочистки.

При обработке отходящих газов ртутных заводов в соответствии с описанной технологией в слое пиролюзита высотой 0,6 м при скорости газов в адсорбере 0,2 м/с степень их демеркуризации составляет 90-96% при затрате 20 т пиролюзита на 1 т уловленной ртути. В то же время при очистке пиролюзитом вентиляционных выбросов производства ртутных термометров остаточная концентрация ртути достигает 0,02 при степени демеркуризации 80%. Невысокая глубина очистки наряду с токсичностью пыли пиролюзита, повышением гидравлического сопротивления его слоя за счет самоуплотнения в процессе работы и рядом других факторов ограничивает в последнее время интерес к практическому использованию этого метода. Помимо перечисленных твердофазных методов для очистки от ходящих газов от паров ртути могут быть применены некоторые ионообменные методы, в частности с использованием зернистых или волокнистых материалов: катионита в Hg^{2+} - форме или анионообменной смолы, содержащей соединения йода и адсорбированный йод.

- 5. Методы каталитической очистки отходящих газов.
- 5.1. Каталитическая очистка газов от диоксида серы

Разработанная технология каталитической очистки отходящих газов от диоксида серы основана на принципе окисления SO₂ в SO₃, используемом в производстве серной кислоты нитрозным (башенным) либо контактным методами. В первом случае в содержащие диоксид серы и оксиды азота дымовые газы сжигания топлива дополнительно вводят NO₃, что обеспечивает (при температурах около 140°C и отношении NO₃:SO₃>2:1) протекание реакции:

$$SO_2 + H_2O + NO_2 = NO + H_2SO_4$$

Концентрация образующейся серной кислоты такова, что в этих условиях она находится в парообразном состоянии. Содержащие пары серной кислоты дымовые газы поступают на стадию окисления NO в N_2O_3 введенным в них кислородом воздуха, а затем из них отмывают пары H_2 $S0_4$ и N_20_3 крепкой (80%-й) серной завершает очистку газов и приводит к нитрозилсерной кислоты. Продувкой последней воздухом из нее выделяют N₀2 с образованием H₂SO₄, основную часть которой возвращают на отмывку дыизбыток, мовых газов, a ee эквивалентный образовавшейся ИЗ содержавшегося в газах SO₂ кислоте, отводят в качестве товарного продукта. Определенную часть содержащего $N0_2$, продувочного воздуха вводят в поступающие на очистку дымовые газы, а другую его часть контактируют с водой с целью получения HNO₃. Содержащие NO газы азотнокислотного производства смешивают с подлежащими очистке дымовыми газами. Описанная технология при обработке дымовых газов, содержащих около 0,3% SO_2 , 0,01% SO_3 и примерно 0,06 NO_x , обеспечивает 95%-ю очистку от оксидов серы и 75%-е удаление N0_x с получением 80%-й серной кислоты и 50%-й азотной кислоты.

В соответствии со вторым методом дымовые газы, на 99% освобожденные от летучей золы, при 450° С подают в реактор, в котором на ванадиевом катализаторе $S0_2$ окисляют в $S0_3$ присутствующим в газах кислородом. Конвертированные газы охлаждают до 230° С, промывают в абсорбере серной кислотой и после улавливания в волокнистом фильтре сернокислотного тумана выбрасывают в атмосферу через дымовую трубу. Продуктом процесса газоочистки является серная кислота средней концентрацией 80%.

В другом варианте этого метода в конвертированные на ванадиевом катализаторе дымовые газы вводят аммиак. Образующийся при этом аэрозоль сульфата аммония удаляют из обрабатываемых газов в электрофильтре, направляя обезвреженный газовый поток в дымовую трубу.

5.2. Каталитическая очистка газов от органических веществ

Присутствующие в отходящих технологических газах и вентиляционных выбросах большого числа производств токсичные пары органических веществ в большинстве случаев подвергают деструктивной каталитической обработке. Катализаторы для таких процессов приготовляют на основе меди, хрома, кобальта, марганца, никеля, платины, палладия и других металлов. В отдельных случаях используют некоторые природные материалы (бокситы, цеолиты).

Среди катализаторов условно различают: цельнометаллические, представляющие собой металлы платиновой группы или неблагородные металлы, нанесенные на ленты, сетки, спирали или листы из нержавеющей стали; смешанные, включающие металлы платиновой группы и оксиды неблагородных металлов, нанесенные на оксид алюминия, нержавеющую сталь или другие металлы; керамические, состоящие из металлов платиновой группы или оксидов неблагородных металлов, нанесенных на керамическую основу в виде сот или решеток; насыпные, приготовляемые в виде гранул или таблеток различной формы из оксида алюминия с нанесенными на него металлами платиновой группы или оксидами неблагородных металлов, а также в виде зерен оксидов неблагородных металлов.

Обычно нанесенные на металлические носители катализаторы имеют некоторые преимущества перед другими типами катализаторов. Они большими термостабильности отличаются значениями периода эксплуатации около 1 года и более, высокими износостойкостью и прочностными характеристиками, развитой поверхностью и пониженной насыпной плотностью, их регенерация не представляет существенных трудностей. Эти показатели цельнометаллических катализаторов (особенно содержащих платину) наряду с малым гидравлическим сопротивлением (до 196-245 Па) обусловливают широкую распространенность и перспективность их

использования для обработки весьма значительных объемов газовых выбросов, содержащих пары растворителей, фенолов и других токсичных органических веществ.

Более просты и дешевы в изготовлении катализаторы на основе керамики. Они также характеризуются низким гидравлическим сопротивлением, обладают, как правило, меньшей насыпной плотностью, сохраняют активность при обезвреживании запыленных потоков, однако являются менее термостабильными, чем цельнометаллические катализаторы. Наиболее активны среди них катализаторы, включающие платину и палладий.

Насыпные катализаторы наиболее часто имеют в качестве носителя активный оксид алюминия. Значительная величина его поверхности обусловливает возможность приготовления весьма высокоактивных (особенно при использовании платины) и термостойких катализаторов. Однако значительное гидравлическое сопротивление, невысокая механическая прочность и связанный с ней относительно короткий период эксплуатации (иногда до трех месяцев) представляют существенные недостатки этих катализаторов.

Используемые в промышленной практике установки каталитической очистки газовых выбросов от паров органических веществ различаются конструкцией контактных аппаратов, способами повышения до необходимого уровня температуры поступающих в них газовых потоков, используемыми катализаторами, приемами рекуперации тепла, наличием рецикла обезвреженных газов.

Типичной является схема установки каталитического обезвреживания отходящих газов в производстве клеенки. В газовых выбросах этих производств, поступающих из камер сушки клеенки, присутствуют пары керосина (100-1000 мг/м³), уайт-спирита (до 200 мг/м³) и ряда органических соединений.

Отходящие из сушильного агрегата газы при 80-200° С вентилятором через брызгоотбойник подают в теплообменник для предварительного подогрева теплом конвертированных газов до 200-220°С, а затем в подогреватель, где их температуру увеличивают до 250-327°С за счет тепла дымовых газов, получаемых сжиганием газообразного топлива. Для сжигания используют кислород,

содержащийся в очищаемых газах. Сжигание органических примесей до CO_2 и H_2O проводят в реакторе на катализаторе. Конвертированные газы из реактора через теплообменник вентилятором возвращают в сушильный агрегат.

С целью компенсации потерь кислорода и доведения температуры обезвреженных газов до уровня, соответствующего условиям сушки клеенки (120-170°С), перед поступлением в сушильный агрегат их разбавляют воздухом. Часть прошедших очистку газов сбрасывают в атмосферу. При исполь-зовании алюмоплатинового катализатора полная очистка при объемной скорости 40 тыс. \mathbf{q}^{-1} достигается при 290°С, более высокая температура (350°С) необходима для обеспечения того же эффекта при объемной скорости газа 60 тыс. \mathbf{q}^{-1} .

Более простыми по технологической компоновке являются схемы каталитического обезвреживания с незамкнутыми по соответствующим газовым потокам циклами.

Каталитическая очистка газов от сероорганических соединений заключается в окислении или гидрировании последних в присутствии контактных масс при повышенных температурах. Каталитическое окисление производят кислородом с образованием кислородных соединений серы, очистка от которых представляет собой более легкую задачу. Каталитическое гидрирование используют тогда, когда подлежащие очистке газы содержат органические соединения серы (сероуглерод, тиофены, дисульфиды), полное удаление которых не обеспечивается использовании поглотителей (см. разд. 4.8). Оно контактировании сероорганических компонентов газов с водородом или водяным паром при 300-500°C на катализаторах с образованием сероводорода, удаляемого затем из конвертированных газов обычными методами (см. разд. 4.8). В качестве катализаторов процессов гидрирования сероорганических соединений водородом используют контактные массы на основе оксидов Fe, Со, Ni, Mo, Cu, Zn, среди которых наиболее распространенными являются кобальт-молибденовые (∂o 5% CoO и 15% MoO₃) и никель-молибденовые (до 10% NiO и 10% MoO₃,), нанесенные на оксид алюминия или алюмосиликатные материалы. При гидрировании водяным паром (гидролиз, конверсия сероорганических соединений) используют катализаторы, содержащие

качестве главного компонента оксид железа. Степень превращения достигает обычно 90-99,9%.

Модуль 2

ПРОЦЕССЫ ЗАЩИТЫ ГИДРОСФЕРЫ

Глава 6. Использование воды в оборотных системах водоснабжения

6.1. Свойства и классификация вод

Вода играет решающую роль во многих процессах, протекающих в природе, и в обеспечении жизни человека. В промышленности воду используют как сырье и источник энергии, как хладоагент, растворитель, экстрагент для транспортирования сырья и материалов и др.

Ресурсы воды. Это запасы пресных поверхностных (речных, озерных, болотных, ледниковых) и подземных вод какой-либо территории. Общее количество природной воды на Земле составляет 1386 млн. км³. В основном (свыше 97,5%) это соленые воды. Количество пресной воды — 35 млн. км³. Однако подавляющая часть пресной воды является труднодоступной для людей, так как она в основном находится в полярных ледниках и водоносных слоях под землей. В СНГ запас пресных поверхностных вод составляет 40,5 тыс. км³. Из них: в озерах — 26 тыс, км³ (в том числе в Байкале — 23 тыс.км³); в ледниках — 11тыс. км³; в болотах около 3 тыс. км³; в руслах рек всего 235 км³. Объем потребления пресной воды в мире достигает приблизительно 3900 млрд. м³/год. Около половины этого количества потребляется безвозвратно, а другая половина превращается в сточные воды.

Природная вода—это вода, которая качественно и количественно формируется влиянием естественных процессов при отсутствии антропогенного воздействия. Ee качественные показатели находятся естественном среднемноголетнем уровне. В зависимости от степени минерализованности (в r/л) воды делятся: на пресные (с содержанием солей <1). солоноватые (1-10), (10-50) и рассолы (>50). В соленые свою очередь, подразделяются на воды малой минерализованности (до 200мг/л), средней минерализованности (200-500 мг/л) и повышенной минерализованности (5001000 мг/л). По преобладающему аниону все воды делятся на гидро карбонатные, сульфатные и хлоридные.

Жесткость природных вод обусловливается присутствием в них солей кальция и магния и выражается концентрацией ионов Ca²⁺ и Mg²⁺ в ммоль экв/л. Различают общую, карбонатную и некарбонатную жесткость. Общая жесткость представляет собой сумму двух последних, карбонатная связана с присутствием в воде бикарбонатов кальция и магния, а некарбонатная — сульфатов, хлоридов, нитратов кальция и магния.

Физические свойства воды. Плотность чистой воды при 35° С и атмосферном давлений — 999 кг/м^3 . С увеличением концентрации примесей плотность воды возрастает. Морская вода с концентрацией солей 35 кг/м^3 имеет среднюю плотность 1028 кг/м^3 при 0° С. Изменение солесодержания на 1 кг/м^3 изменяет плотность на 0.8 кг/м^3 .

Вязкость µ воды с повышением температуры t уменьшается следующим образом:

t, °C	0	5	10	15	20	25	30	35
$\mu \cdot 10^{-3}$,	1,79	1,52	1,30	1,13	1,00	0,89	0,80	0,72

С увеличением солесодержания вязкость воды повышается. Поверхностное натяжение a воды при 18°C составляет 73, при 100°C — 52,5 мН/м. Теплоемкость воды при 0°C составляет 4180 Дж/(кг·°С), а при 35°C достигает минимума. Теплота плавления при переходе льда в жидкое состояние составляет 330 кДж/кг, теплота парообразования равна 2250 кДж/кг при атмосферном давлении и температуре 100°C.

Электрические свойства воды. Вода — слабый проводник электрического тока: удельная электрическая проводимость при 18°C равна 4,9·10⁻⁸ См/м (4,41-10⁻⁸ 1/Ом·см); диэлектрическая постоянная равна 80. Наличие растворенных солей в воде увеличивает ее электрическую проводимость, которая изменяется в зависимости от температуры.

Оптические свойства воды. Прозрачность и мутность воды зависят от содержания в ней механических примесей, находящихся во взвешенном состоянии. Чем больше примесей в воде, тем больше ее мутность и меньше прозрачность. Прозрачность определяется длиной пути луча, проникающего

вглубь воды, и зависит от длины волны луча. Ультрафиолетовые лучи проходят через воду легко, а инфракрасные — плохо. Показатель прозрачности используют для оценки качества воды и содержания в ней примесей.

Загрязнение воды. Вследствие антропогенного воздействия природная вода загрязняется различными веществами, что приводит к ухудшению ее качества. Под качеством воды понимают совокупность физических, химических, биологических и бактериологических показателей. Загрязнения, поступающие в водную среду, изменяют эти показатели.

Можно выделить следующие тенденции в изменении качества природных вод под влиянием хозяйственной деятельности людей:

снижение рН пресных вод в результате их загрязнения серной и азотной кислотами из атмосферы, увеличение содержания в них сульфатов и нитратов; повышение содержания ионов кальция, магния, кремния в подземных и речных водах вследствие вымывания и растворения подкисленными дождевыми водами карбонатных и других горных пород;

повышение содержания в природных водах ионов тяжелых металлов, прежде всего, свинца, кадмия, ртути, мышьяка и цинка, а также фосфатов (>0,1 мг/л), нитратов, нитритов и др.;

повышение содержания солей в поверхностных и подземных водах в результате их поступления со сточными входами, из атмосферы и за счет смыва твердых отходов (например, солесодержание многих рек ежегодно повышается на 30-50 мг/л и более, из 1000 т городских отходов в грунтовые воды попадает до 8 т растворимых солей);

повышение содержания в водах органических соединений, прежде всего, биологически стойких (ПАВ, пестицидов, продуктов их распада и других токсичных, канцерогенных и мутагенных веществ);

снижение содержания кислорода в природных водах, прежде всего, в результате повышения его расхода на окислительные процессы, связанные с эвтрофикацией водоемов, с минерализацией органических соединений, а также вследствие загрязнения поверхности водоемов гидрофобными веществами и сокращения доступа кислорода из атмосферы (в отсутствие кислорода в воде развиваются

восстановительные процессы, в частности, сульфаты восстанавливаются до сероводорода);

снижение прозрачности воды в водоемах (в загрязненных водах размножаются вирусы и бактерии, возбудители инфекционных заболеваний);

потенциальная опасность загрязнения природных вод радиоактивными изотопами химических элементов.

Природная вода, подвергаемая антропогенному' загрязнению, называется денатурированной или природно-антропогенной. В случае необходимости перед использованием воды в промышленности ее очищают в соответствии со специфическими требованиями данного производства.

Классификация вод по целевому назначению. Воду, используемую в промышленности, подразделяют на охлаждающую, технологическую и энергетическую (рис. II-1).



Рис. II-1. Классификация вод по целевому назначению

Вода часто служит для охлаждения жидких и газообразных продуктов в теплообменных В аппаратах. ЭТОМ случае она не соприкасается \mathbf{c} материальными подтоками и не загрязняется, а лишь нагревается. В промышленности 65-80% расхода воды потребляется для охлаждения. На предприятиях потребление охлаждающей крупных химических достигает 440 млн. м³/год. Суммарное количество воды, заключенной в системах охлаждения на предприятиях химической промышленности, составляет 20 млрд. м7год.

Технологическую воду подразделяют на средообразующую, промывающую и реакционную. Средообразующую воду используют для растворения и

образования пульп, при обогащении и переработке руд, гидротранспорте продуктов и отходов производства; промывающую — для промывки газообразных (абсорбция), жидких (экстракция) и твердых продуктов и изделий; реакционную — в составе реагентов, а также при азеотропной отгонке и аналогичных процессах. Технологическая вода непосредственно контактирует с продуктами и изделиями.

Энергетическая вода потребляется для получения пара и нагревания оборудования, помещений, продуктов.

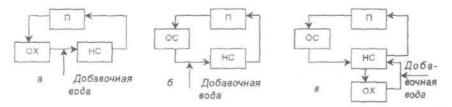


Рис. II-2. Схемы оборотного водоснабжения: a — с охлаждением воды; δ — с очисткой воды; ϵ — с очисткой и охлаждением воды; Π — производство; HC — насосная станция; OX — охлаждение воды; OC — очистка сточной воды

6.2. Оборотное водоснабжение

Наиболее перспективный путь уменьшения потребления свежей воды — это создание оборотных и замкнутых систем водоснабжения. Схемы оборотного водоснабжения показаны на рис. 11-2. При оборотном водоснабжении следует предусмотреть необходимую очистку сточной воды, охлаждение оборотной воды, обработку и повторное использование сточной воды.

В схеме a вода является теплоносителем и в процессе использования не загрязняется, а нагревается; перед повторным использованием ее охлаждают в градирнях, прудах. В схеме b воду перед повторным использованием очищают изложенными ниже методами. В схеме b воду очищают и охлаждают. Во всех случаях свежая вода добавляется лишь на восполнение потерь. Применение оборотного водоснабжения позволяет в 10-50 раз уменьшить потребление природной воды. Например, для выработки 1 т каучука при прямоточном водоснабжении в старых производствах требуется 2100 м³ свежей воды, а при оборотном водоснабжении — лишь 165 м³. При оборотном водоснабжении значительно уменьшаются капитальные и эксплуатационные затраты. Во всех отраслях промышленности доля оборотной воды непрерывно возрастает. Так, в химической промышленности она возросла до 82,5%. Эффективность

использования воды в производстве оценивается рядом показателей: процент оборота воды

$$P_{o\delta} = Q_{o\delta}/(Q_{o\delta} + Q_{u}),$$

коэффициент использования воды

$$K_{H} = (Q_{u} - Q_{o6})/Q_{u} < 1$$

кратность использования воды

$$n = (Q_{o6} + Q_u + Q_c) / (Q_u + Q_c) > 1,$$

безвозвратное потребление воды и ее потери в производстве (в %)

$$K_n = [(Q_u - Q_{of}) / (Q_{of} + Q_u)] 100,$$

где Q_{o6} — количество оборотной воды, m^3/v ; Q_u — количество воды, забираемое из источника водоснабжения, m^3/v ; Q_{c6} — количество воды, сбрасываемое предприятием, m^3/v ; Q_c — поступление воды из сырья, m^3/v .

Оборотная вода должна соответствовать определенным значениям показателей: карбонатной жесткости, рН, содержанию взвешенных веществ и биогенных элементов, значению ХПК (химическая потребность в кислороде), определяющих термостабильность и интенсивность биообрастаний в оборотной системе и др.

Оборотную воду в основном используют в теплообменной аппаратуре для отведения избыточного тепла. Она многократно нагревается до 40-45 °C и охлаждается в вентилируемых градирнях или брызгальных бассейнах. Значительная часть ее теряется в результате брызгоуноса и испарения. Кроме того, из-за неисправностей и не плотностей теплообменной аппаратуры она загрязняется до определенного предела.

Для предотвращения инкрустации, коррозии, биологического обрастания часть оборотной воды выводят из системы (продувочная вода), добавляя свежую воду из источника или очищенные сточные воды.

Необходимое количество воды для подпитки определяется из материального баланса оборотной системы:

$$Q_{\text{yh}} + Q_{\text{cf}} + Q_{\varphi} + Q_{\text{пр.п}} + Q_{\text{исп}} = Q_{\text{п}}$$

где Q_{yH} - количество воды, уносимой в виде капель ветром на градирнях Q_{cd} — количество оборотной воды, сбрасываемой для «продувки» Q_{φ} — потери воды с осадками при фильтровании; $Q_{пр.п}$ — производственные потери воды; $Q_{исп}$ — количество воды, испаряющейся на градирне; Q_{n} — расход подпитывающей воды на компенсацию всех потерь оборотной воды в системе.

Допустимое содержание солей в подпитывающей воде определяется из материального баланса по солям:

$$\begin{split} Q_{\pi} \ c_{\pi} &= \left(Q_{y_{H}} + Q_{c6} + Q_{\phi} + Q_{\pi p.\pi} \right) c_{o6}, \\ c_{\pi} &= c_{o6} \! \left(Q_{y_{H}} + Q_{c6} + Q_{\phi} + Q_{\pi p.\pi} \right) / Q_{\pi} \end{split}$$

где с — содержание солей в подпитывающей воде; c_{o6} — общее содержание солей, удаляемое из системы с потерями воды.

Средние потери воды от испарения составляют около 2,5%; от капельного уноса на градирнях 0,3-0,5%; продувочный сброс принимается 6-10%. в среднем 8%; сумма всех остальных потерь принимается 1% от объема оборотной воды.

Показатели качества воды для подпитки даны в табл. II.2. При работе без сброса оборотной воды для продувки объем свежей воды для подпитки в три раза меньше, чем при работе со сбросом, но предъявляются более жесткие требования к качеству воды, что связано с увеличением затрат на водоподготовку. Удельные расходы воды и количества сточных вод для некоторых производств приведены в табл. 11.3.

6.3. Технологическая вода и сточные воды

Технологическая вода. Качество воды, используемой для технологических процессов, должно быть выше, чем воды, находящейся в оборотных системах. Под качеством воды понимается совокупность физических, химических, биологических и бактериологических показателей, обусловливающих ее пригодность для использования в промышленном производстве.

Качество воды, используемой в производстве, устанавливается в каждом случае в зависимости от ее назначения и требований технологического процесса с учетом состава используемого сырья, применяемого оборудования и

особенностей готового продукта производства. В некоторых случаях требуется вода с содержанием солей менее 10-15 г/м³, жесткостью, не превышающей 0,01 моль экв/м³ и окисляемостью до 2 г O_2/M^3 . В табл. П-4 приведены основные требования к воде, идущей на разные цели.

Сточные воды. В производстве образуются различные категории сточных вод. Сточная вода — это вода, бывшая в бытовом, производственном или сельскохозяйственном употреблении, а также прошедшая через какую-либо загрязненную территорию. В зависимости от условий образования сточные воды делятся на бытовые или хозяйственно-фекальные (БСВ), атмосферные (АСВ) и промышленные (ПСВ).

Хозяйственно-бытовые воды — это стоки душевых, бань, прачечных, столовых, туалетов, от мытья полов и др. Они содержат примеси, из которых примерно 58% органических веществ и 42% минеральных.

Атмосферные воды образуются в результате выпадения атмосферных осадков и стекающие с территорий предприятий. Они загрязняются органическими и минеральными веществами.

Промышленные сточные воды представляют собой жидкие отходы, которые возникают при добыче и переработке органического и неорганического сырья. В технологических процессах источниками сточных вод являются: 1) воды, образующиеся при протекании химических реакций (они загрязнены исходными веществами и продуктами реакций);

- 2) воды, находящиеся в виде свободной и связанной влаги в сырье и исходных продуктах и выделяющиеся в процессах переработки;
 - 3) промывные воды после промывки сырья, продуктов и оборудования;
 - 4) маточные водные растворы;
 - 5) водные экстракты и абсорбенты;
 - 6) воды охлаждения;
- 7) другие сточные воды; воды с вакуум-насосов, конденсаторов смешения, систем гидрозолоудаления, после мытья тары, оборудования и помещений. Количество и состав сточных вод зависит от вида производства (см., например, табл. П-5).

Сточные воды загрязнены различными веществами. Комитетом BO3 рекомендована следующая классификация химических загрязнителей воды:

- 1) биологически нестойкие органические соединения;
- 2) малотоксичные неорганические соли;
- 3) нефтепродукты;
- 4) биогенные соединения;
- 5) вещества со специфическими токсичными свойствами, в том числе тяжелые металлы, биологически жесткие неразлагающиеся органические синтетические соединения.

Сточные воды многих производств, кроме растворимых неорганических и органических веществ, содержат коллоидные примеси, а также взвешенные грубодисперсные и мелкодисперсные примеси, плотность которых может быть больше или меньше плотности воды. Концентрация примесей весьма различна. Классификация их по фазово-дисперсному состоянию дана в табл.11-6,

Имеется несколько путей уменьшения количества загрязненных сточных вод, среди них следующие:

- I) разработка и внедрение безводных технологических процессов;
- 2) усовершенствование существующих процессов;
- 3) разработка и внедрение совершенного оборудования;
- 4) внедрение аппаратов воздушного охлаждения;
- 5) повторное использование очищенных сточных вод в оборотных и зам-кнутых системах.

6.4. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий

Основным направлением уменьшения сброса сточных вод и загрязнения ими водоемов является создание замкнутых систем водного хозяйства.

Под замкнутой системой водного хозяйства промышленного предприятия понимается система, в которой вода используется в производстве многократно без очистки или после соответствующей обработки, исключающей образование каких-либо отходов и сброс сточных вод в водоем.

Под замкнутой системой водного хозяйства территориально-промышленного комплекса, района или центра понимается система, включающая

использование поверхностных вод, очищенных промышленных и городских сточных вод на промышленных предприятиях, на земледельческих полях для орошения при выращивании сельскохозяйственных культур, для полива лесных угодий, для поддержания объема (уровня) воды водоемов, исключающих образование каких-либо отходов и сброс сточных вод в водоем.

Подпитка замкнутых систем свежей водой допускается в случае, если недостаточно очищенных сточных вод для восполнения потерь воды в этих системах, допускается также расход ее в технологических операциях, в которых очищенные сточные воды не могут быть использованы по условиям технологии или гигиены. Свежая вода расходуется только для питьевых и хозяйственно-бытовых целей.

Необходимость замкнутой создания системы производственного водоснабжения обусловлена: дефицитом воды; исчерпанием ассимилирующей разбавляющей и самоочищающей способности водного объекта, принимающего сточные воды; экономическими преимуществами перед очисткой сточных вод до требований, предъявляемых водоохранным контролем. Таким образом, организация замкнутой системы целесообразна, когда затраты на рекуперацию воды и веществ, выделенных из сточной воды и переработанных до товарного продукта или вторичного сырья, ниже суммарных затрат на водоподготовку и очистку сточной воды до показателей, позволяющих сбрасывать ее в водные объекты без загрязнения последних. В тех случаях, когда создание замкнутых систем водоснабжения диктуется экологическими требованиями, должен быть выбран оптимальный вариант с экономической точки зрения.

Замкнутая система должна обеспечить рациональное использование воды во всех технологических процессах, максимальную рекуперацию компонентов сточных вод, сокращение капитальных и эксплуатационных затрат, нормальные санитарно-гигиенические условия работы обслуживающего персонала, исключение загрязнения окружающей среды.

I Очищенная вода должна соответствовать качеству технологической воды. Замкнутые системы водного хозяйства следует вводить на вновь строящихся предприятиях и на действующих, подлежащих реконструкции. В последнем случае, внедрение замкнутых систем идет постадийно с постоянным

увеличением оборотного водоснабжения по мере усовершенствования технологии.

Оценка систем водного хозяйства проводится путем сравнения следующих показателей: удельного расхода воды, в том числе свежей, на единицу продукции; удельного расхода реагентов, электроэнергии и тепла на ОЧИСТКУ' СТОЧНЫХ ВОД; абсолютного количества товарного продукта, получаемого при очистке сточных вод; экономических показателей, в том числе себестоимости, рентабельности, фондоемкости, фондоотдачи; годового экономического эффекта по приведенным затратам; экологических показателей (о закачке жидких отходов в подземные горизонты, складировании твердых отходов, о состоянии воздушного бассейна, флоры и фауны).

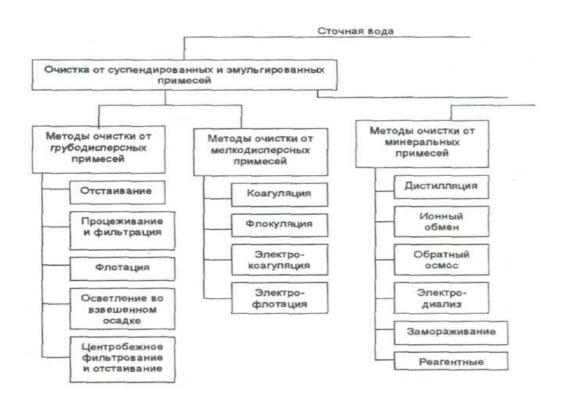
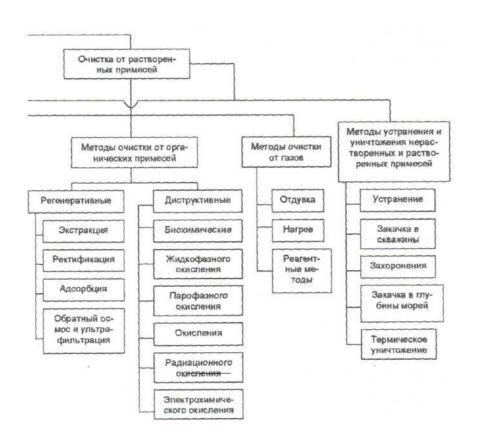


Рис. П-3. Классификация основных методов обезвреживания сточных вод химических производств

Методы Для очистки сточных вод. создания замкнутых систем водоснабжения промышленные сточные воды подвергаются очистке физико-химическими, механическими, химическими, биологическими И термическими методами до необходимого качества, зависящего производства г Классификация методов очистки приведена на рис. 11-3.

Указанные методы очистки подразделяются на; рекуперационные и деструктивные. Рекуперационные методы предусматривают извлечение из сточных вод и дальнейшую переработку всех ценных веществ. В деструктивных методах вещества, загрязняющие воды. подвергаются разрушению путем окисления или восстановления. Продукты разрушения удаляются из воды в виде газов или осадков.



Выбор метода очистки и конструктивное оформление процесса производятся с учетом следующих факторов: 1) санитарных и технологических требований, качеству очищенных c дальнейшего предъявляемых К вод учетом 2) количества сточных вод; 3) наличия у предприятия использования; необходимых для процесса обезвреживания энергетических и материальных ресурсов (пар, топливо, сжатый воздух, электроэнергия, реагенты, сорбенты), а необходимой площади для сооружения очистных установок; эффективности процесса обезвреживания.

Эффективность обезвреживания сточных вод — h, % для всех методов определяется по соотношению:

$$\eta = \frac{G_H - G_K}{G_H} \cdot 100 = 1 - \frac{Q_K C_K}{189 C_H} \cdot 100$$

где G_{H} и G_{K} — массовый расход загрязнения в сточных водах до очистки и после очистки,

кг/с; Q_H и Q_K — объемный расход сточных вод до очистки и после очистки, m^3/c ;

 $C_{\scriptscriptstyle H}$ и $C_{\scriptscriptstyle K}$ — концентрация загрязнения в сточной воде до и после очистки, кг/м³. Если $Q_{\scriptscriptstyle H} = Q_{\scriptscriptstyle K}$, то:

$$\eta = \frac{C_H - C_K}{C_H}.$$

Если очистка сточных вод от загрязнения производится последовательно несколькими методами, то суммарная степень очистки равна:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \cdots (1 - \eta_n),$$

где $i \mid$, $\Gamma \mid$,, $\Gamma \mid$,, — степень очистки сточных вод первым, вторым и п методами. Для оценки санитарной эффективности рекомендуется показатель КБ (контроль биосферы), равный:

$$KB = \frac{C_K}{\Pi Д K_B}$$
.

Тогда санитарная эффективность СЭ метода обезвреживания принимается равной

$$C\Theta_B = \frac{\eta}{KB_B} = \frac{\eta \cdot \Pi \not \Pi K_B}{C_K}$$

В случае сброса очищенных сточных вод в водоем метод очистки считается эффективным, если он обеспечивает нормативы допустимого сброса (НДС = Q C).

В крупных производствах с выпуском разнообразной продукции образуются стоячие воды различного состава. Для отвода их строятся несколько канализационных систем. Каждая система имеет свои локальные очистные

. 190
$$\frac{C_1}{\Pi / 1 K_1} + \frac{C_2}{\Pi / 1 K_2} + \dots + \frac{C_n}{\Pi / 1 K_n} \le 1.$$

сооружения. При содержании в сточных водах нескольких веществ $(C_1, C_2,...C_n)$ расчет санитарной эффективности обезвреживания проводят из условия:

Вопросы для повторения

- 1)Объясните, как изменяется качество воды под влиянием хозяйственной деятельности людей?
- 2) Какие имеются схемы оборотного водоснабжения предприятий и какими показателями оценивается эффективность использования в них воды?
- 3) Что такое сточные воды и какие имеются пути уменьшения их образования?
- 4) Какие методы очистки сточных вод используются в промышленности и какова их цель?

Глава 7. Удаление взвешенных частиц из сточных вод

Промышленные и бытовые сточные воды содержат взвешенные частицы малорастворимых и нерастворимых веществ. Взвешенные примеси подразделяются на твердые и жидкие, образуют с водой дисперсную систему. В зависимости от размера частиц дисперсные системы делят на три группы; 1) грубодисперсные системы с частицами размером более 0.1 мкм (суспензии и эмульсии); 2) коллоидные системы с частицами размером от 0,1 мкм - 1 нм; 3) истинные растворы, имеющие частицы, размеры которых соответствуют размерам отдельных молекул или ионов.

Для удаления взвешенных частиц из сточных вод используют гидромеханические процессы (периодические и непрерывные) процеживания, отстаивания (гравитационное и центробежное) фильтрование. Выбор метода зависит от размера частиц примесей, физико-химических свойств и концентрации взвешенных частиц, расхода сточных вод и необходимой степени очистки.

При неравномерном образовании сточных вод на производстве перед передачей на очистные сооружения их усредняют по расходу и концентрации в усреднителях различной конструкции. Этим обеспечивается устойчивость процессов очистки.

7.1. Процеживание и отстаивание

Песколовки. Их применяют для предварительного выделения минеральных и органических загрязнений (0.2-0,25 мм) из сточных вод. Горизонтальные песколовки представляют собой резерв) ары с треугольным или трапецеидальным поперечным сечением. Глубина песколовок 0,25-1 м. Скорость движения воды в них не превышает 0,3 м/с. Разновидностью горизонтальных песколовок являются песколовки с круговым движением воды в виде круглого резервуара конической формы с периферийным лотком для протекания сточной воды. Осадок собирается в коническом днище, откуда его направляют на переработку или в отвал. Применяются при расходах до 7000 м³/СУТ. Вертикальные песколовки имеют прямоугольную или крупную форму, в них сточные воды движется с вертикальным восходящим потоком со скоростью 0,05 м/с.

Конструкцию песколовки выбирают в зависимости от количества сточных вод, концентрации взвешенных веществ. Наиболее часто используют горизонтальные песколовки.

Горизонтальные отстойники. Они представляют собой прямоугольные резервуары, имеющие два и более одновременно работающих отделения (рис. П-7, а). Вода движется с одного конца отстойника к другому.

Глубина отстойников равна H = 1,5-4 м, длина 8-12 м, а ширина коридора 3-6 м. Равномерное распределение сточной воды достигается при помощи поперечного лотка. Горизонтальные отстойники рекомендуется применять при расходах сточных вод свыше 15000 м³/сут. Эффективность отстаивания достигает 60%.

В отстойнике каждая частица движется с потоком воды со скоростью w и под действием силы тяжести вниз — w_{oc} . Таким образом, скорость перемещения каждой частицы будет представлять равнодействующую двух этих скоростей. В отстойнике успеют осесть только те частицы, траектория которых пересекает дно отстойника в пределах его длины. Горизонтальную скорость движения воды в отстойнике принимают не более 0.01~m/c. Продолжительность отстаивания 1-3 ч.

Вертикальные отстойники. Схема вертикального отстойника одной из конструкций показана на рис.11-7, *б*. Отстойник представляет собой цилиндрический (или квадратный в плане) резервуар с коническим днищем.

Сточную воду подводят по центральной трубе. После поступления внутрь отстойника вода движется снизу вверх к желобу. Для лучшего ее распределения и предотвращения образования мути трубу делают с раструбом и распределительным щитом. Таким образом, осаждение происходит в восходящем потоке, скорость которого равна 0,5-0,6 м/с. Высота зоны осаждения — 4-5 м. Каждая частица движется с водой вверх со скоростью v и под действием силы тяжести вниз w_{oc} . Поэтому различные частицы будут занимать различное положение в отстойнике. При $w_{oc} > v$ будут быстро оседать, при $w_{oc} < v$ — уноситься вверх. Эффективность осаждения вертикальных отстойников ниже на 10-20%, чем в горизонтальных.

Радиальные отстойники. Они представляют собой круглые в плане резервуары (рис. 11-7, *в*). Вода в них движется от центра к периферии. При этом минимальная скорость наблюдается у периферии. Такие отстойники применяют при расходах сточных вод свыше 20 000 м³/сут. Глубина проточной части отстойника — 1,5-5 м, а отношение диаметра к глубине от 6 до 3 0. Обычно используют отстойники диаметром 16-60 м. Эффективность их осаждения составляет 60%.

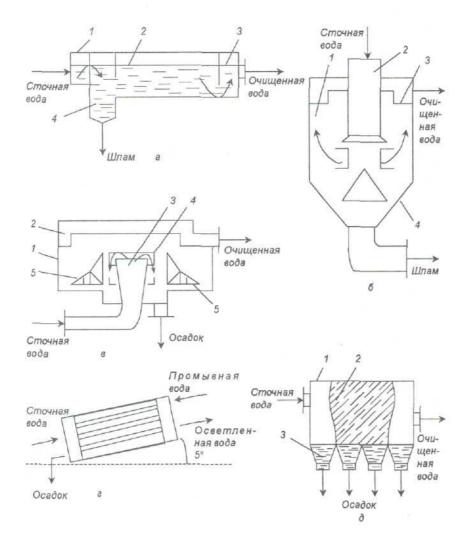


Рис. 11-7. Отстойники: a — горизонтальный: 1 — входной лоток, 2 — отстойная камера, 3 — выходной лоток, 4 — приямок; 6 — вертикальный: 1 — цилиндрическая часть, 2 — центральная труба, 3 — желоб, 4 — коническая часть; 6 — радиальный: 1 — корпус, 2 — желоб, 3 — распределительное устройство, 4 — успокоительная камера, 5 — скребковый механизм; r — трубчатый; g — с наклонными пластинами: g — пластины, g — шламоприемник

Повысить эффективность отстаивания можно путем увеличения скорости осаждения, увеличив размеры частиц и или уменьшив вязкость сточной воды нагревания. Кроме того, можно увеличить площадь отстаивания и проводить процесс осаждения в топком слое жидкости. В последнем используют трубчатые и пластинчатые отстойники. При малой отстаивания процесс протекает за короткое время (4-10 мин), что позволяет уменьшить размеры отстойников.

Рабочими элементами трубчатых отстойников являются трубки диаметром 25-50 мм и длиной 0,6-1 м. Трубки можно устанавливать с малым (до 5°) и большим (45-60°) наклоном. Трубчатый отстойник с небольшим наклоном (рис. 11-7. ε) работает периодически.

Сначала проводят отстаивание, затем промывку трубок от осадка. Для успешного проведения процесса необходимо равномерное распределение воды по трубкам и ламинарный режим движения. Такие отстойники используют для осветления сточных вод с небольшим содержанием взвешенных частиц при расходах 100-10 000 м³/сут. Гидравлическая нагрузка у отстойников 6-10 м³/ч на 1 м² входного сечения трубок. Эффективность очистки 80-83%.

В трубчатых отстойниках с большим наклоном вода проходит снизу вверх, а осадок непрерывно сползает по дну трубок в шламовое пространство. Непрерывное удаление осадка исключает необходимость промывки трубок. Отстойники этого типа могут быть изготовлены из пластмассовых блоков, которые устанавливают в корпусах обычных отстойников. Гидравлическая нагрузка отстойников с большим наклоном труб от 2,4 до 7,2 м³/ч на 1 м² входного сечения труб.

Методики расчета аппаратов очистки сточных вод Расчет отстойника

Отстаивание применяют для разделения грубых суспензий, в частности для осаждения из сточных вод грубодисперсных примесей. Отстаивание происходит под действием сил тяжести. Для проведения процесса используют песколовки, отстройники и осветлители.

В промышленности широко применяют отстойники непрерывного действия с гребковой мешалкой (рис. 4).

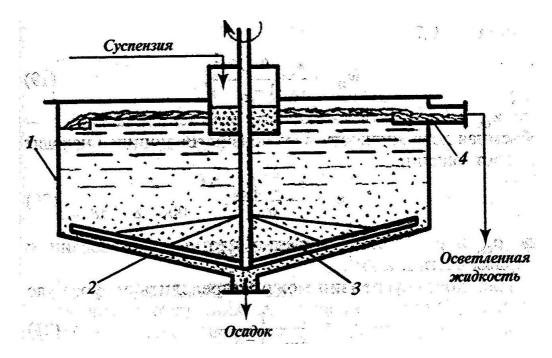


Рис 4. Отстойник для суспензий:

- 1 цилиндрический корпус;
- 2 днище;
- 3 гребковая мешалка;
- 4 кольцевой желоб для сбора осветленной жидкости.

При расчете отстойников основной расчетной величиной является поверхность осаждения F (в м²), которую находят по формуле

$$F = K_3 \frac{G_{\text{cm}}}{\rho_{\text{o.cB}} \cdot w_{\text{cr}}} \cdot \frac{x_{\text{oc}} - x_{\text{cm}}}{x_{\text{oc}} - x_{\text{ocB}}}, (17)$$

где K_3 — коэффициент запаса поверхности, учитывающий неравномерность распределения исходной суспензии по всей площади осаждения, вихреобразование и другие факторы, проявляющиеся в производственных условиях (обычно $K_3=1,3-1,35$); $G_{\rm cm}$ — массовый расход исходной суспензии, кг/с; $\rho_{\rm ocs}$ — плотность осветленной жидкости, кг/м³; $w_{\rm cr}$ — скорость осаждения частиц суспензии, м/с; $x_{\rm cm}$, $x_{\rm oc}$, $x_{\rm ocs}$ — соответственно содержание твердых частиц в исходной смеси, осадке и осветленной жидкости, массовые доли.

Скорость осаждения частиц суспензии (скорость стенного осаждения, м/с) можно рассчитать по формулам:

при
$$\varepsilon > 0,7$$

$$w_{\rm cr} = w_{\rm oc} \cdot \varepsilon^2 \cdot 10^{-1,82 \, (1-\varepsilon)} \, ; \, (18)$$
 при $\varepsilon >= 0,7$

$$w_{\rm cr} = \frac{w_{oc} \cdot 0.123 \varepsilon^3}{1 - \varepsilon}, (19)$$

где $w_{\rm oc}$ - скорость свободного осаждения частиц; ϵ - объемная доля жидкости в суспензии. Величину ϵ находят по соотношению

$$\varepsilon = \frac{1 - x_{\text{CM}} \rho_{\text{CM}}}{\rho_{\text{T}}}, (20)$$

где $\rho_{\mbox{\tiny CM}}$ и $\rho_{\mbox{\tiny T}}$ – соответственно плотность суспензии и твердых частиц, $\kappa \Gamma/M^3$.

Плотность суспензии можно определить по формуле

$$\rho_{\rm cm} = \frac{1}{\frac{x_{\rm cm}}{\rho_{\rm T}} + \frac{1 - x_{\rm cm}}{\rho_{\rm x}}}, (21)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность чистой жидкости, кг/м³.

Скорость свободного осаждения шарообразных частиц (в м/с) рассчитывают по формуле

$$w_{\rm oc} = \frac{\mu_{\rm m} Re}{d_{\rm T} \rho_{\rm m}}, (22)$$

где $\mu_{\text{ж}}$ – вязкость жидкости, $\Pi a \cdot c$; $d_{\text{т}}$ – диаметр частицы, м; Re – число Рейнольдса при осаждении частицы.

Если частицы имеют не шарообразную форму, то в формулу (22) в качестве $d_{\scriptscriptstyle T}$ следует поставить диаметр эквивалентного шара; кроме того, величину $w_{\scriptscriptstyle OC}$ следует умножить на поправочный коэффициент ϕ , называемый коэффициентом формы. Его значения определяют опытным путем. В частности, для округлых частиц $\phi \sim 0,77$, для угловатых – 0,66, для продолговатых – 0,58, для пластинчатых – 0,43.

Значение Re рассчитывают по формулам, зависящим от режима осаждения, что определяется с помощью критерия Архимеда:

$$Ar = \frac{d_{T}^{3} \rho_{\mathbf{x}} g(\rho_{T} - \rho_{\mathbf{x}})}{\mu_{\mathbf{x}}}$$
(23)

При Ar < 36

$$Re = \frac{Ar}{18}$$
; (24)

Re = 0,152 Ar
$0,714$
; (25)
при Ar > 83
Re = 1,74 \sqrt{Ar} . (26)

Пример расчета отстойника

Рассчитать отстойник для сгущения водной суспензии по следующим данным: расход суспензии $G_{\text{см}} = 9600$ кг/ч. Содержание твердых частиц: в суспензии $x_{\text{см}} = 0,1$, в осадке $x_{\text{ос}} = 0,5$, в осветленной жидкости $x_{\text{осв}} = 10^{-4}$ кг/кг. Частицы суспензии имеют шарообразную форму. Минимальный размер удаляемых частиц $d_{\text{т}} = 25$ мкм. Плотность частиц $\rho_{\text{т}} = 2600$ кг/м³. Осаждение происходит при температуре 5 °C.

Решение

Определим значение критерия Ar по формуле (23):

Ar =
$$\frac{(25 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 1000 \cdot 9,81(2600 - 1000)}{(1,519 \cdot 10^{-3})^2} = 0,106.$$

Поскольку Ar < 36, рассчитываем Re по формуле (24):

$$Re = \frac{0,106}{18} = 0,00589.$$

Скорость свободного осаждения в соответствии с выражением (22) составит

$$w_{\rm oc} = \frac{0.00589 \cdot 1.519 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 3.58 \cdot 10^{-4} \text{M/c}.$$

Найдем плотность суспензии по формуле (21):

$$\rho_{\text{cm}} = \frac{1}{\frac{0.1}{2600} + \frac{0.9}{1000}} = 1066 \text{kg/m}^3.$$

По формуле (20) определим значение ε:

$$\varepsilon = \frac{1 - 0.1 \cdot 1066}{2600} = 0.959.$$

Поскольку $\varepsilon >=0,7$, для расчета скорости стесненного осаждения применяем формулу (18):

$$w_{\rm cr} = 3.58 \cdot 10^{-4} \cdot 0.959^{2} \cdot 10^{-1.82(1-0.959)} = 2.77 \cdot 10^{-4} \text{m/c}.$$

По формуле (17) находим поверхность осаждения, принимая K_3 =1,3 и считая, что плотность осветленной жидкости равна плотности чистой воды:

$$F = 1.3 \frac{9600}{3600 \cdot 1000 \cdot 2,77 \cdot 10^{-4}} \cdot \frac{(0.5 - 0.1)}{0.5 - 0,0001} = 10.0 \text{ m}^2.$$

По приведенным данным выбираем отстойник диаметром 3,6 м, высотой 1,8 м, имеющий поверхность 10,2 м 2 .

7.2. Удаление всплывающих примесей

Процесс отстаивания используют и для очистки производственных сточных вод от нефти, масел, смол, жиров и др. Очистка от всплывающих примесей аналогична осаждению твердых веществ. Различие заключается в том, что плотность всплывающих частиц меньше, чем плотность воды. Для улавливания частичек нефти используют нефтеловушки. Для улавливания жиров применяют жироловушки. Схема горизонтальной прямоугольной нефтеловушки показана на рис, II-10, а. Всплывание нефти на поверхность воды происходит в отстойной камере. При помощи скребкового транспорта нефть подают к нефтесборным трубам, через которые она удаляется. Скорость движения воды в нефтеловушке изменяется в пределах 0,005-0,01 м/с. Для частичек нефти диаметром 80—100 мкм скорость всплывания равна 1-4 мм/с. При этом всплывает 96-98% нефти. Горизонтальные нефтеловушки имеют не менее двух секций. Ширина секций 2-3 м, глубина отстаиваемого слоя воды 1,2-1,5 м; продолжительность отстаивания не менее 2 ч. Имеются также радиальные и полочные тонкослойные нефтеловушки, представояющие собой (рис. II-10, б) усовершенствованные конструкции горизонтальных нефтеловушек. Они имеют меньшие габариты и более экономичны. Расстояние между полками равняется 50 мм, угол наклона полок 45°, время пребывания сточных вод в зоне отстаивания 2-4 мин, толщина слоя всплывающих нефтепродуктов 0,1 м; остаточное содержание их в воде 100 мг/л.

Сточные воды маслозаводов, фабрик первичной обработки шерсти, мясокомбинатов, столовых содержат жиры. Для их улавливания используют жироловушки, которые устроены аналогично нефтеловушкам. Для увеличения эффективности удаления из вод жира применяют аэрированные жироловушки.

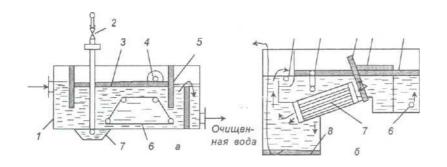


Рис. II-10. Нефтеловушки: *а* — горизонтальная: 1 — корпус, 2 — гидроэлеватор, 3 — слой нефти, 4 — нефтесборная труба, 5 — нефтеудерживающая перегородка, 6 — скребковый транспортер, *б* — тонкослойная: 1 — вывод очищенной воды, 2 — нефтесборная труба, 3 — перегородка, 4 — плавающий пенопласт, 5 — слой нефти, 6 — ввод сточной воды, 7 — секция из гофрированных пластин, 8 — осадок

7.3. Фильтрование

Фильтрование применяют ДЛЯ выделения ИЗ сточных вод тонкодиспергированных твердых жидких веществ, удаление которых ИЛИ отстаиванием затруднено. Разделение проводят при помощи перегородок, протекающих жидкость и задерживающих диспергированную фазу. Процесс идет под действием гидростатического давления столба жидкости, повышенного давления над перегородкой или вакуума после перегородки.

Фильтрование через фильтрующие перегородки. Выбор перегородок зависит от свойств сточной воды, температуры, давления фильтрования и конструкции фильтра.

В качестве перегородки используют металлические перфорированные листы и сетки из нержавеющей стали, алюминия, никеля меди, латуни и др., а также разнообразные тканевые перегородки (асбестовые, стеклянные, хлопчатобумажные, шерстяные, из искусственного и синтетического волокна). Для химически агрессивных сточных вод при повышенной температуре и значительных механических напряжениях наиболее пригодны металлические перегородки, изготовляемые из перфорированных листов, сеток и пластин, получаемых при спекании сплавов.

Фильтровальные перегородки, задерживающие частицы, должны обладать минимальным гидравлическим сопротивлением, достаточной механической прочностью и гибкостью, химической стойкостью и не должны набухать и разрушаться при заданных условиях фильтрования. По материалу; из которого

изготовляют перегородки, их разделяют на органические и неорганические, по принципу действия — на поверхностные и глубинные, по структуре — на гибкие и негибкие.

Глубинные фильтровальные перегородки обычно применяют при осветлении суспензий с малой концентрацией твердой фазы, которая, проникая внутрь перегородки, задерживается в порах, оседает и адсорбируется. На поверхностных, фильтровальных перегородках проникания частиц в поры перегородки не происходит.

Процесс фильтрования проводят с образованием осадка на поверхности фильтрующей перегородки или с закупоркой пор фильтрующей перегородки.

Осадки, которые образуются в процессе фильтрования, могут быть сжимаемыми несжимаемыми. Сжимаемые осадки характеризуется И уменьшением порозности вследствие уплотнения и увеличением сопротивления ростом перепада давлений. У несжимаемых осадков порозность сопротивление потоку' жидкости В процессе фильтрования остаются постоянными. К таким осадкам относят вещества минерального происхождения (песок, мел, сода и др.) с размером частиц >100 мкм. Производительность фильтра определяется скоростью фильтрования, т.е. объемом воды, прошедшей в единицу времени через единицу поверхности.

Механизмы извлечения частиц из воды сводятся к следующим: 1) процеживание, при котором извлечение частиц является чисто механическим; 2) гравитационное осаждение; 3) инерционное захватывание; 4) химическая адсорбция; 5) физическая адсорбция; 6) адгезия; 7) коагуляционное осаждение; 8) биологическое выращивание. В общем случае эти механизмы могут действовать совместно, и процесс фильтрования состоит из трех стадий: 1) перенос частиц на поверхность вещества, образующего слой; 2) прикреатение к поверхности; 3) отрыв от поверхности.

По характеру механизма задерживания взвешенных частиц различают два вида фильтрования: 1) фильтрование через пленку (осадок) загрязнений, образующуюся на поверхности зерен загрузки; 2) фильтрование без образования пленки загрязнений. В первом случае задерживаются частицы, размер которых больше пор материала, а затем образуется слой загрязнений,

который является также фильтрующим материалом. Такой процесс характерен для медленных фильтров, которые работают при малых скоростях фильтрования. Во втором случае фильтрование происходит в толще слоя загрузки, где частицы загрязнений удерживаются на зернах фильтрующего материала адгезионными силами. Такой процесс характерен для скоростных фильтров. Величина сил адгезии зависит от крупности и формы зерен, от шероховатости поверхности и ее химического состава, от скорости потока и температуры жидкости, от свойств примесей.

Выбор типа фильтра для очистки сточных вод зависит от количества фильтрующих вод, концентрации загрязнений и степени их дисперсности, физико-химических свойств твердой и жидкой фаз и от требуемой степени очистки.

Промывку фильтров, как правило, производят очищенной водой (фильтратом), подавая ее снизу вверх. При этом зерна загрузки переходят во взвешенное состояние и освобождаются от прилипших частиц загрязнений. Может быть произведена водо-воздушная промывка, при которой сначала зернистый слой продувают воздухом для разрыхления, а затем подают воду. Интенсивность подачи воздуха изменяется в пределах 18-22 л/(м² -с), а воды — 6-7 л/(м² -с). Возможна и трехэтапная промывка. Сначала слой продувают воздухом, а затем смесью воздух - вода; на последнем этапе водой. Продолжительность промывки 5-7 мин.

Особенностью фильтра с подвижной загрузкой является вертикальное расположение фильтрующей загрузки и горизонтальное движение фильтруемой воды. Фильтрующим материалом служит кварцевый песок (1,5—3 мм) или гранитный щебень (3-10 мм). Схема фильтра показана на рис. II-12,6.

Сточная вода поступает в коллектор, откуда через каналы и отверстия поступает в фильтрующий слой. Очищенную воду отводят из фильтра через дренажную камеру. Загрязненный материал перекачивают гидроэлеватором по трубе в промывное устройство. Расчетная скорость фильтрации 15 м/ч; расход промывной воды 1-2% от производительности фильтра; необходимый напор перед фильтром 2-2,5 м. Эффективность очистки составляет 50-55%.

Достоинства фильтров: большая скорость фильтрации, высокое качество отмывки загрузки от загрязнений, небольшая производственная площадь, занимаемая фильтром. Недостатки: большая металлоемкость, истирание стенок трубопроводов, измельчение и унос песка, сложность эксплуатации.

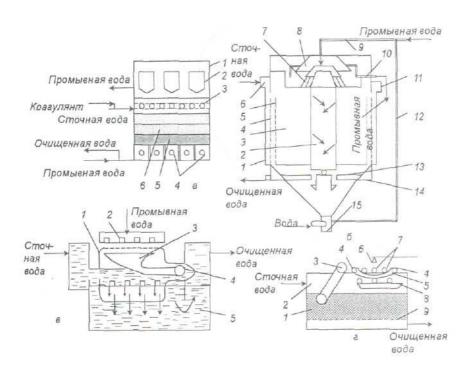


Рис. П-12. Фильтры: *а* — скоростной контактный: 1 — корпус, 2 — система удаления промывных вод, 3 — система подачи сгонных вод, 4 — система подачи промывных вод, 5 — пористый дренаж, 6 — фильтрующий материал; *6* — с подвижной загрузкой: 1 — корпус, 2 — дренажная камера, 3 — средняя камера. 4 -каналы, 5 — щелевые трубы, 6 — ввод сточной воды, 7 — классификатор. 8 -промывное устройство, 9 — труба для подачи промывной воды, 10 — отвод промывной воды, 11 — коллектор, 12, S3 — трубы, 14 — кольцевой коллектор, 15 — гидроэлеватор; *в* — микрофильтр: 1 — вращающий барабан, 2 — устройство для промывных вод, 5 — камера для удаления осветленной воды; *г* — с пенополиуретановой загрузкой: 1 — слой пенополиуретана, 2 — камера, 3 — элеватор. 4 направляющие ролики, 5 — лента. 6 - ороситель. 7 - отжимные ролики, 8 — емкость для регенерата, 9 — решетчатая перегородка

Расчет фильтров для суспензий

Фильтрование применяют для выделения из сточных вод тонкодисперсных диспергированных твердых или жидких веществ, удаления которых отстаиванием затруднено. Разделение проводят при помощи пористых перегородок, пропускающих жидкость и задерживающих диспергированную фазу.

Среди фильтров непрерывного действия известны вакуум-фильтры барабанные (рис.5), дисковые и ленточные.

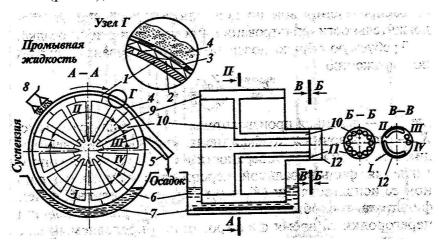


Рис.5. Схема барабанного вакуум-фильтра с наружной фильтрующей поверхностью:

- 1 вращающийся металлический перфорированный диск;
- 2 волнистая проволочная сетка;
- 3 фильтровальная ткань;
- 4 осадок;
- 5 нож для съема осадка;
- 6 корыто для суспензии;
- 7 качающаяся мешалка;
- 8 устройство для подвода промывной жидкости;
- 9 ячейки барабана;
- 10 трубы;
- 11, 12 вращающаяся и неподвижная части распределительной решетки.

Исходными данными для расчета фильтра являются требуемая производительность по фильтрату, перепад давления при фильтровании и промывке, массовая концентрация твердой фазы в исходной суспензии. Кроме того, из экспериментов должны быть определены константы фильтрования:

удельное сопротивление осадка и сопротавле фильтровальной перегородки; влажность отфильтрованого осадка и удельный расход промывной жидкости, т. е. расход, необходимый для промывки 1 кг осадка; минимальная продолжительность окончательной сушки осадка; оптимальная высота слоя осадка (как правило, она составляет 7-15 мм).

Перед расчетом на основании стандартной разбивки поверхности технологические задают значения на 30НЫ **VГЛОВ** сектора предварительной регенерации сушки осадка, **30H** съема осадка, фильтровальной перегороди, мертвых зон.

Ориентировочная частота вращения барабана, обеспечивающая образование осадка заданной толщины, его промывку и сушку, может быть определена в зависимости от распределения зон по поверхности барабана, от продолжительности фильтрования, промывки и сушки осадка.

Требуемую общую поверхность фильтрования находят по выражению

$$F_{oo} = \frac{V_{oo}\tau_{u}}{v_{\phi.yo}K_{n}},$$

где $V_{o \bar{o}}$ — заданная производительность по фильтрату, м³/c; K_n — поправочный коэффициент, учитывающий необходимость увеличения поверхности из-за

77777"

увеличения сопротивления фильтровальной перегородки при многократном ее использовании (K_n =0,8); $v_{\phi,vo}$ – удельный объем фильтрата, т.е. объем, получаемый с 1 м² фильтровальной перегородки за время фильтрования, определяемый как

$$v_{\phi,y\partial} = \frac{h_{oc}}{\gamma}$$
.

По найденному значению F_{ob} из каталога выбирают типоразмер фильтра и определяют требуемое количество фильтров. Затем следует проверка пригодности выбранного фильтра.

Открытые (безнапорные) гидроциклоны. Их применяют для очистки сточных вод от крупных примесей (гидравлической крупностью 5 мм/с). От напорных гидроциклонов они отличаются большей производительностью и

меньшим гидравлическим сопротивлением. Схема одного из гидроциклонов — с внутренним цилиндром и конической диафрагмой показана на рис. II-13, *в*.

Сточную воду тангенциально подают в пространство, ограниченное внутренним цилиндром. Поток по спирали движется вверх. Дойдя до верха цилиндра, он разделяется на два потока. Один из них (осветленная вода) движется к центральному отверстию диафрагмы и. пройдя ее. попадает в лоток. Другой поток со взвешенными частицами направляется в пространство между стенками цилиндра и гидроцилиндра и поступает в коническую его часть.

Многоярусные гидроциклоны. В многоярусных гидроциклонах рабочий объем разделен коническими диафрагмами на несколько ярусов, каждый из которых работает самостоятельно. В этой конструкции использован принцип тонкослойного отстаивания (более полное использование объема аппарата, уменьшение времени пребывания при одинаковой степени очистки). Схема гидроциклона показана на рис. II-13, *г*.

Сточная вода из аванкамер через щели поступает в пространство между ярусами, где движется по спирали к центру. При этом происходит осаждение из нее твердых частиц на нижние диафрагмы ярусов. Осадок сползает и через щели попадает в коническую часть. Осветленная вода попадает в кольцевой поток. Частицы масел и нефти через зазор между диафрагмами и стенкой корпуса всплывают под верхнюю диафрагму и по маслопроводящим трубам выходят на поверхность, откуда через воронку их удаляют из гидроциклона.

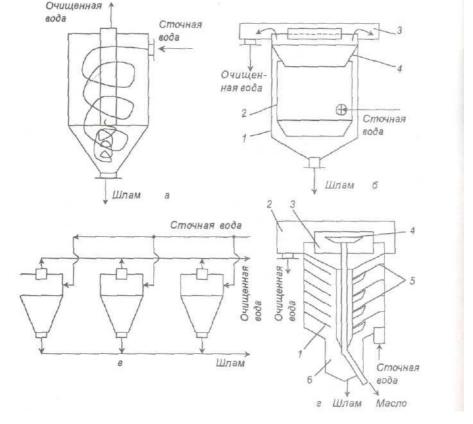


Рис. II-13. Гидроциклоны: a — напорный; b — с внутренним цилиндром и конической диафрагмой: b — корпус, b — внутренний цилиндр, b — кольцевой лоток, b — диафрагма; b — блок напорных гидроциклонов; b — многоярусный гидроциклон с наклонными патрубками для отвода очищенной воды: b — конические диафрагмы, b — лоток, b — водослив, b — маслосборная воронка, b — распределительные лотки, b — шламоотводящая щель

Производительность многоярусного гидроциклона определяется по зависимости:

$$Q=3,6 \Pi n (R^2-r^2)w_{oc}$$

где R — радиус вращения; r — радиус шламоприемных козырьков; n — число ярусов в гидроциклоне.

Конструктивные размеры многоярусных гидроциклонов: диаметр 3-6 м; высота яруса 130-200 мм; число ярусов 4-20; диаметр отверстия диафрагмы 0,6-1,4 м; ширина шламоотводящей щели 100 мм; число впусков 3: скорость воды на входе в аппарат принимается равной 0,5 м/с.

К физико-химическим методам очистки сточных вод относят коагуляцию, флотацию, адсорбцию, ионный обмен, экстракцию, ректификацию, обратный ультрафильтрацию, выпаривание, дистилляцию, **OCMOC** И кристаллизацию, десорбцию и др. Эти методы ИСПОЛЬЗУЮТ для удаления из сточных вод тонкодисперсных взвешенных частиц (твердых и жидких), растворимых газов, минеральных и органических веществ, і

Использование физико-химических методов для очистки сточных вод по сравнению с биохимическими имеют ряд преимуществ:

- 1) возможность удаления из сточных вод токсичных биохимически неокисляемых органических загрязнений;
 - 2) достижение более глубокой и стабильной степени очистки;
 - 3) меньшие размеры сооружении;
 - 4) меньшая чувствительность к изменениям нагрузок;
 - 5) возможность полной автоматизации;
 - 6) более глубокая изученность кинетики некоторых процессов, а также вопросов моделирования, математического описания и оптимизации, что важно для правильного выбора и расчета аппаратуры;
 - 7) методы не связаны с контролем за деятельностью живых организмов;
 - 8) возможность рекуперации различных веществ.

Выбор того или иного метода очистки (или нескольких методов) производят с учетом санитарных и технологических требований, предъявляемых к очищенным производственным сточным водам с целью дальнейшего их использования, а также с учетом количества сточных вод и концентрации загрязнений в них, наличия необходимых материальных и энергетических ресурсов и экономичности процесса.

8.1. Коагуляция и флокуляция

Коагуляция. Это процесс укрупнения дисперсных частиц в результате их взаимодействия и объединения в агрегаты. В очистке сточных вод ее применяют для ускорения процесса осаждение тонкодисперсных примесей и эмульгированных веществ. Коагуляция наиболее эффективна для удаления из

воды коллоид но-дисперсных частиц, т. е. частиц размером 3—100 мкм. Коагуляция может происходить самопроизвольно ИЛИ ПОД влиянием химических и физических процессов. В процессах очистки сточных вод коагуляция происходит под влиянием добавляемых к ним специальных веществ — коагулянтов. Коагулянты в воде образуют хлопья гидроксидов металлов, которые быстро оседают под действием силы тяжести. Хлопья обладают способностью улавливать коллоидные и взвешенные частицы и агрегировать их. Так как коллоидные частицы имеют слабый отрицательный заряд, а хлопья коагулянтов слабый положительный заряд, то между ними возникает взаимное притяжение.

Флокуляция. Это процесс агрегации взвешенных частиц при добавлении в сточную вод высокомолекулярных соединений, называемых флокулянтами. В отличие от коагуляции при флокуляции агрегация происходит не только при непосредственном контакте частиц, но и в результате взаимодействия молекул адсорбированного на частицах флокулянта.

Флокуляцию проводят для интенсификации процесса образования хлопьев гидроксидов алюминия и железа с целью повышения скорости их осаждения. Использование флокулянтов позволяет снизить дозы коагулянтов, уменьшить продолжительность процесса коагуляции и повысить скорость осаждения образующихся хлопьев.

При выборе состава и дозы флокулянта учитывают свойства его макромолекул и природу диспергированных частиц. Оптимальная доза ПАА для очистки промышленных сточных вод колеблется в пределах 0,4-1 г/м³. ППА

действует в широком диапазоне pH среды. Однако скорость осаждения сфлокулированных хлопьев при pH>9 уменьшается.

Эффективность любого флокулянта рассчитывают по формуле:

$$\eta_{\phi} = (w_{e\phi} - w) / wq$$

где w и w — скорость осаждения сфлокулированного и несфлокулированного шлама соответственно, мм/с; q — расход флокулянта на 1 т твердого вещества, г.

Процесс очистки сточных вод коагуляцией и флокуляцией состоит из следующих стадий: дозирование и смешение реагентов со сточной водой; хлопьеобразование и осаждение хлопьев (рис.П-17).

Для смешения коагулянтов с водой применяют гидравлические и механические смесители. В гидравлических смесителях смешение происходит вследствие изменения направления движения и скорости потока воды. Схема одного из смесителей показана на рис. II-18, а. В механических смесителях — аппаратах с мешалкой — процесс перемешивания должен быть равномерным и медленным, чтобы частицы при сближении образовывали хлопья, которые не разрушались бы при вращении мешалки.

После смешения сточных вод с реагентами, воду направляют в камеры хлопьеобразования. Используют перегородчатые, вихревые и с механическими мешалками камеры. Образование хлопьев в камерах протекает медленно — за 10-30 мин. Схема перегородчатой камеры показана на рис. II-18. б.

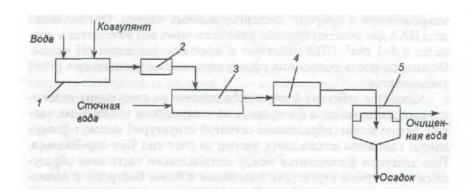


Рис. П-17. Схема установки для очистки вод коагуляцией: 1 — емкость; 2 — дозатор; 3 — смеситель; 4 — камера хлопьеобразования; 5 — отстойник.

Она представляет собой резервуар, разделенный перегородками на ряд последовательно проходимых водой коридоров. Скорость воды в коридорах принимают 0.2-0,3 м/с.

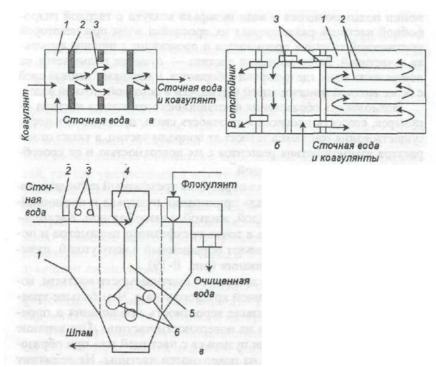
Осаждение хлопьев происходит в отстойниках и осветлителях, конструкции которых описаны в седьмой главе. Часто стадии смешения, коагулирования и осаждения проводят в одном аппарате. Один из таких аппаратов показан на рис. И-18, ϵ .

Сточная вода, смешанная с коагулянтом, по трубе поступает в воздухоотделитель. Затем вода движется по центральной трубе к распределительным трубам, которые заканчиваются соплами для распределения и вращения воды в кольцевой зоне, куда вводят флокулянт. Хлопья коагулянта образуются в кольцевой зоне. Взвешенные частицы с хлопьями оседают на дно и их удаляют из аппарата. Осветленная вода через отверстие попадает в желоб, откуда ее направляют на использование.

8.2. Флотация

Флотацию применяют для удаления из сточных вод нерастворимых диспергированных примесей, которые самопроизвольно плохо отстаиваются. В некоторых случаях флотацию используют и для удаления растворенных веществ, например ПАВ. Такой процесс называют пенной сепарацией или пенным концентрированием. Флотацию применяют для очистки сточных вод многих производств: нефтеперерабатывающих, искусственного целлюлозно-бумажных, волокна, кожевенных, машиностроительных, пищевых, химических. Ее используют также для выделения активного ила после биохимической очистки.

Достоинствами флотации являются непрерывность процесса, широкий диапазон применения, небольшие капитальные и эксплуатационные затраты, простая аппаратура, селективность выделения примесей, по сравнению с отстаиванием большая скорость процесса, а также возможность получения шлама более низкой влажности (90-95%), высокая степень очистки (95-98%), возможность рекуперации удаляемых



концентрации ПАВ и легкоокисляемых веществ, бактерий и микроорганизмов.

Рис, 11-18. Аппараты для коагуляции: a — перегородчатый смеситель: 1 — коридор, 2 — перегородка, 3 — окно; δ — перегородчатая камера хлоп «образования: 1 — коридор, 2 — перегородки, 3 — окно; e — коагуляторосветлитель: 1 — корпус, 2 — желоб, 3 — отверстия для удаления осветленной воды, 4 — воздухоотделитель, 5 — центральная труба, 6 — распределительные трубы

Все это способствует успешному проведению последующих стадий очистки сточных вод. Элементарный акт флотации заключается в следующем: при сближении подымающегося в воде пузырька воздуха с твердой гидрофобной частицей разделяющая их прослойка воды при некоторой критической толщине прорывается и происходит слипание пузырька с частицей. Затем комплекс частица — пузырек подымается на поверхность воды, где пузырьки собираются, и возникает пенный слой с более высокой концентрацией частиц, чем в исходной сточной воде.

Возможность образования флотационного комплекса частица — пузырек, скорость процесса и прочность связи, продолжительность существования комплекса зависят от природы частиц, а также от характера взаимодействия реагентов с их поверхностью и от способности частиц смачиваться водой.

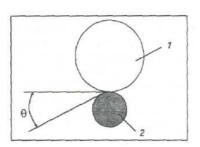


Рис. II-19. Элементарный акт флотации (1 — пузырек газа, 2 — твердая частица)

8.3. Адсорбция

Адсорбционные методы широко применяют для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ после биохимической очистки, а также в локальных установках, если концентрация этих веществ в воде невелика, и они биологически не разлагаются или являются сильно токсичными. Применение локальных установок целесообразно, если вещество хорошо адсорбируется при небольшом удельном расходе адсорбента.

Адсорбцию используют для обезвреживания сточных вод от фенолов, гербицидов, пестицидов, ароматических нитросоединений. ПАВ красителей и др. Достоинством метода является высокая эффективность, возможность очистки сточных вод, содержащих несколько веществ, а также рекуперации этих веществ. Адсорбционная очистка может быть регенеративной, т. е. с извлечением вещества из адсорбента и его утилизацией, деструктивной, при которой извлеченые из сточных вод вещества уничтожаются вместе с адсорбентом. Эффективность адсорбционной очистки достигает 80-95% и зависит от химической природы адсорбента, величины адсорбционной поверхности и ее доступности, от химического строения вещества и его состояния в растворе.

Адсорбенты В качестве сорбентов используют активные угли. синтетические сорбенты и некоторые отходы производства (золу; шлаки, опилки и др.). Минеральные сорбенты — глины, силикагели. алю-могели и гидроксиды металлов для адсорбции различных веществ из сточных вод используют мало, так как энергия взаимодействий их с молекулами воды велика — иногда превышает энергию адсорбции. Наиболее универсальными из адсорбентов являются активные угли, однако они должны обладать определенными свойствами. Активные угли должны слабо взаимодействовать с молекулами воды И хорошо органическими веществами, быть относительно крупнопористыми (с эффективным радиусом адсорбционных пор в пределах 0.8-5.0 нм или 8-50 А), чтобы их поверхность была доступна для больших и сложных органических молекул. При малом времени контакта с водой они должны иметь высокую адсорбционную емкость, высокую селективность и малую удерживающую способность при регенерации. При соблюдении последнего условия затраты на реагенты для регенерации угля будут небольшими. Угли должны быть прочными, быстро смачиваться водой, иметь определенный гранулометрический состав. В процессе очистки используют мелкозернистые адсорбенты с частицами размером 0.25-0.5 мм и высокодисперсные угли с частицами размером менее 40 мкм.

Важно, чтобы угли обладали малой каталитической активностью по отношению к реакциям окисления, конденсации и др.. так как некоторые органические вещества, находящиеся в сточных водах, способны окисляться и осмоляться. Эти процессы ускоряются катализаторами. Осмолившиеся вещества забивают поры адсорбента, что затрудняет его низкотемпературную регенерацию. Наконец, они должны иметь низкую стоимость, не уменьшать адсорбционную емкость после регенерации и обеспечивать большое число циклов работы. Сырьем для активных углей может быть практически любой угле-родсодержащий материал: уголь, древесина, полимеры, отходы пищевой, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности.

Адсорбционные установки. Процесс адсорбционной очистки сточной воды ведут при интенсивном перемешивании адсорбента с водой, при фильтровании неподвижный ИЛИ движущийся слой адсорбента воды псевдоожиженном слое на установках периодического и непрерывного действия. Установки при перемешивании адсорбента с водой. При смешивании адсорбента с водой используют активный уголь в виде частиц 0.1 мм и меньше. Процесс проводят в одну или несколько ступеней. Статическая одноступенчатая адсорбция нашла применение в тех случаях, когда адсорбент очень дешев или является отходом производства, Более эффективно (при меньшем расходе адсорбента) процесс протекает при использовании многоступенчатой установки. При этом, в первую ступень, вводят столько адсорбента, сколько необходимо для снижения концентрации загрязнений от с1 до с2 затем адсорбент отделяют отстаиванием или фильтрованием, а сточную воду направляют во вторую ступень, куда вводят свежий адсорбент. По окончании процесса адсорбции во

второй ступени концентрация загрязнений в воде уменьшается от c, до c. и т. д. Схема такой установки показана на рис. II-29. a

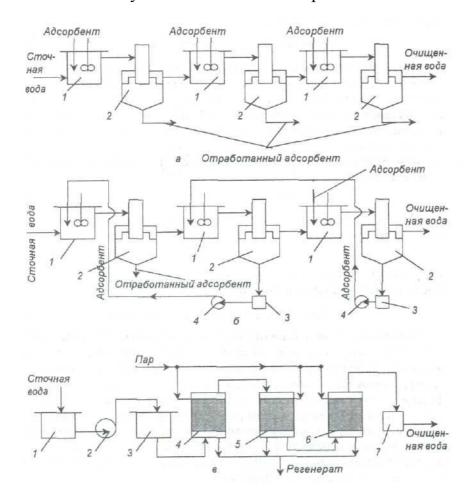
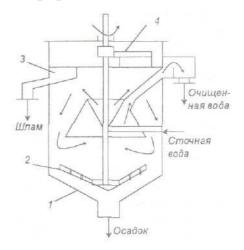


Рис. П-29. Схемы адсорбционных установок: a — с последовательным введением адсорбента: 1 — смеси гели, 2 — отстойники; δ — с противен очным введением адсорбента: 1 — смесители, 2 — отстойники, 3 — приемники адсорбента, 4 — насосы; ϵ — непрерывного действия: 1 — усреднитель, 2 — насос, 3 — фильтр, 4-6 — колонны, 7 — емкость.

Возможность образования флотационного комплекса частица — пузырек, скорость процесса и прочность связи, продолжительность существования комплекса зависят от природы частиц, а также от ха-



рактера взаимодействия реагентов с их поверхностью и от способности частиц смачиваться водой.

Рис. П-22. Флотатор "Аэрофлот":

1 — камера; 2 - - скребок; 3 — шламоприемник; 4 — поверхностные скребки

Электрофлотация. В этом процессе очистка сточных вод от взвешенных частиц проходит при помощи пузырьков газа, образующихся при электролизе воды. На аноде возникают пузырьки кислорода, а на катоде—водорода. Поднимаясь в сточной воде, эти пузырьки флотируют взвешенные частицы. При использовании растворимых электродов происходит образование хлопьев коагулянтов и пузырьков газа, что способствует более эффективной флотации. Основную роль при электрофлотации играют пузырьки, образующиеся на катоде. Размер пузырьков водорода значительно меньше, чем при других методах флотации. Он зависит от краевого угла смачивания и кривизны поверхности электродов. Диаметр пузырьков меняется от 20 до 100 мкм. Мелкие пузырьки водорода обладают большей растворимостью, крупные. Из пересыщенных чем растворов мельчайшие пузырьки выделяются

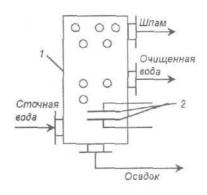


Рис. 11-51. Скема однокамерной электрофлаг анионной установки (1 — корпус; 2 — электроды)

на поверхности частичек загрязнений и тем самым способствуют эффекту флотации. Для получения пузырьков требуемого размера необходим правильный подбор материала, диаметра проволоки катода и плотности тока. Оптимальное значение плотности тока 200-260 A/м², газосодержание — около 0,1%.

При небольших объемах сточных вод (10-15 м³/ч) электрофлотационные установки могут быть однокамерными (рис. И-51), при больших — следует применять двухкамерные установки, которые могут быть горизонтальными и вертикальными. Они состоят из электродного отделения и отстойной части. Схема горизонтального электрофлотатора показана на рис И-52. Сточная вода поступает в успокоитель, который отделен от электродного отделения решеткой. Проходя через межэлектродное пространство, вода насыщается пузырьками газа. Всплывание пузырьков с частицами происходит в отстойной части. Всплывший шлам перемещается скребком в шлакоприемник, откуда его удаляют. Расчет установки сводится к определению общего объема электродного отделения и отстойной

части, а также необходимых конструктивных и электрических параметров.

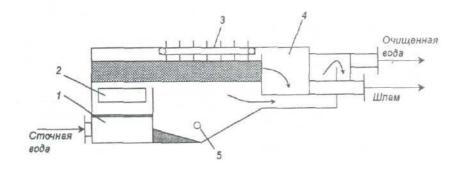


Рис. П-52. Горизонтальный электрофлотатор: 1 — впускная камера; 2 — электроды; 3 — скребок; 4 — шламоприемник; 5 — патрубок для выпуска осадка

Вопросы для повторения

- 1.электрофлотацией. Назовите области применения, достоинства и недостатки. Объясните механизм коагуляции и назовите наиболее распространенные коагулянты. Как устанавливается доза коагулянта?
- 2. Что такое флокуляция? Каков механизм этого процесса?
- 3. Назовите стадии очистки сточных вод коагуляцией и флокуляцией и основную аппаратуру для проведения этого процесса.
- 4. Объясните механизм элементарного акта флотации и укажите, как определить энергию образования комплекса пузырек-частица.
- 5. Дайте характеристику способов флотации с выделением воздуха из растворов. Какой способ является наиболее распространенным и почему?
- 1. Чем отличается напорная флотация от флотации с механическим диспергированием воздуха в воде?
- 2. Сравните по эффективности, производительности и затрате энергии выделение взвешенных частиц флотацией и гравитационным осаждением.
- 3. Объясните основы очистки сточных вод пенной сепарацией.
- 4. Рассмотрите физико-химические основы процесса очистки

сточных вод адсорбцией.

11.

Рассмотрите основные схемы адсорбционной очистки сточных вод.

12.

Назовите область применения и объясните сущность ионообменной очистки сточных вод.

13.

Дайте характеристику природных и синтетических ионитов.

14.

Рассмотрите основные схемы ионообменных установок для очистки сточных вод.

15.

Объясните стадии очистки сточных вод экстракцией. Укажите требования, предъявляемые к экстрагенту.

16.

Рассмотрите схему очистки сточных вод от фенола экстракцией. Объясните основы процессов экстракции металлов из сточных вод.

17.

Объясните основы очистки сточных вод обратным осмосом и ультрафильтрацией. Укажите требования, предъявляемые к мембранам.

18.

Рассмотрите схемы основных модулей, используемых в процессах очистки сточных вод обратным осмосом и схемы соединения модулей в установках.

19.

Рассмотрите основы удаления примесей из сточных вод методами десорбции, дезодорации и дегазации. Укажите области их применения и эффективность.

20.

Глава 9. Химические методы очистки сточных вод

К химическим методам очистки сточных вод относят нейтрализацию, окисление и восстановление. Все эти методы связаны с расходом различных реагентов, поэтому дороги. Их применяют для удаления растворимых веществ и в замкнутых системах водоснабжения. Химическую очистку проводят иногда как предварительную перед биологической очисткой или после нее как метод доочистки сточных вод.

9.1. Нейтрализация

Сточные воды, содержащие минеральные кислоты или щелочи, перед сбросом их в водоемы или перед использованием в технологических процессах нейтрализуют. Практически нейтральными считаются воды, имеющие pH = 6,5-8,5.

Нейтрализацию можно проводить различным путем: смешиванием кислых и щелочных сточных вод, добавлением реагентов, фильтрованием кислых вод через нейтрализующие материалы, абсорбцией кислых газов щелочными водами или абсорбцией аммиака кислыми водами. Выбор метода нейтрализации зависит от объема и концентрации сточных вод, от режима их поступления, наличия и стоимости реагентов. В процессе нейтрализации могут образовываться осадки, количество которых зависит от концентрации и состава сточных вод, а также от вида и расхода используемых реагентов.

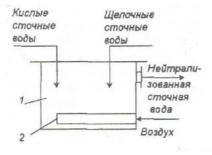
Нейтрализация смешиванием. Этот метод применяют, если на одном предприятии или на

соседних предприятиях имеются кислые и щелочные воды, не загрязненные другими компонентами. Кислые и щелочные воды смешивают в емкости (рис. П-54) с мешалкой и без мешалки. В последнем случае перемешивание ведут воздухом при его скорости в линии подачи 20-40 м/с.

При переменной концентрации сточных вод в схеме предусматривают установку усреднителя или обеспечивают автоматическое регулирование подачи в камеру смешивания. Расчет соотношения сточных направляемых В камеру смешения, проводят вод, При избытке стехиометрическим уравнениям. кислых ИЛИ щелочных сточных вод добавляют соответствующие реагенты.

Нейтрализованную воду используют в производстве, а осадок обезвоживают на шламовых площадках или вакуум-фильтрах.

Рис. II-54. Нейтрализатор смешения (1 — емкость; 2 —



распределитель воздуха)

9.2.Окисление и восстановление

Для очистки сточных вод используют следующие окислители: газообразный и сжиженный хлор, диоксид хлора, хлорат кальция, гипохлориты кальция и натрия, перманганат калия, бихромат калия, пероксид водорода, кислород воздуха, пероксосерные кислоты, озон, пиролюзит и др.

В процессе окисления токсичные загрязнения, содержащиеся в сточных водах, в результате химических реакций переходят в менее токсичные, которые удаляют из воды. Очистка окислителями связана

с большим расходом реагентов, поэтому ее применяют только в тех случаях, когда вещества, загрязняющие сточные воды, нецелесообразно или нельзя извлечь другими-способами. Например, очистка от цианидов, растворенных соединений мышьяка и др.

Активность вещества как окислителя определяется величиной окислительного потенциала. Из всех известных в природе окислителей первое место занимает фтор, который, однако, из-за высокой агрессивности не может быть использован на практике. Для других веществ величина окислительного потенциала равна: для озона — 2,07; для хлора — 0,94; для пероксида водорода — 0,68; для перманганата калия — 0.59.

Озонирование. Окисление озоном позволяет одновременно обеспечить обесцвечивание воды, устранение привкусов и запахов и обеззараживание. Озонированием можно очищать сточные воды от фенолов, нефтепродуктов, сероводорода, соединений мышьяка, ПАВ, цианидов, красителей, канцерогенных ароматических углеводородов, пестицидов и др.

Озон — газ бледно-фиолетового цвета. В природе находится в верхних слоях атмосферы. При температуре —111,9°С озон превращается в нестойкую жидкость темно-синего цвета. Физико-химические свойства озона: относительная молекулярная масса 48; плотность (при температуре 0°С и давлении 0,1 Мпа) 2.154 г/л; температура плавления 192.5°С; теплота образования 143,64 кДж/моль; коэффициент растворимости в воде при 0°С — 0,49. при 20°С — 0,29; окислительно-восстановительный потенциал 2,07 В.

Чистый озон взрывоопасен, так как при его разложении высвобождается значительное количество тепла; очень токсичен. Максимальная допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны равна 0,0001 мг/м³. Обеззараживающее действие озона основано на высокой окислительной способности, обусловленной легкостью отдачи им активного атома кислорода ($O_3 = O_{,,} + O$). Озон окисляет все металлы, кроме золота, превращая их в оксиды.

В водном растворе озон диссоциирует быстрее, чем в воздухе. Очень быстро диссоциирует в слабощелочных растворах. В кислотных растворах озон проявляет большую стойкость. В чистом сухом воздухе он разлагается очень медленно.

При обработке воды озоном происходит разложение органических веществ и обеззараживание воды: бактерии погибают в несколько тысяч раз быстрее, чем при обработке воды хлором. Растворимость озона в воде зависит от рН и содержания в воде растворимых веществ. Небольшое содержание кислот и нейтральных солей увеличивает растворимость озона. Присутствие щелочей снижает растворимость O_3 .

Действие озона в процессе окисления может происходить в трех различных направлениях: непосредственное окисление с участием одного атома кислорода; присоединение целой молекулы озона к окисляемому веществу с образованием озонидов: каталитическое усиление окисляющего воздействия кислорода, присутствующего в озонированном воздухе.

Механизм реакции разложения озона довольно сложен, ПО-СКОЛЬКУ' на скорость деструкции влияет множество факторов: условия перехода озона из газовой фазы в жидкость, соотношение между парциальным давлением газа и его растворимостью в водном растворе, кинетика окисления озоном находящихся в воде загрязнений.

При диспергировании озона в воду идут два основных процесса — окисление и дезинфекция. Кроме того, происходит значительное обогащение воды растворенным кислородом. Окисление веществ может быть прямое и непрямое, а также может осуществляться катализом и озонолизом.

Для озонирования промышленных сточных вод используют аппараты различной конструкции. Схемы некоторых из аппаратов по- казаны на рис. 11-62. Могут быть использованы также насадочные и тарельчатые колонны и колонны с механическим диспергированием озона.

Поскольку озон приближается к сильным отравляющим веществам (превосходит, например, синильную кислоту), на установках очистки сточных вод озонированием предусматривается стадия очистки отходящих газов от остатков озона.

Для этой цели проводят разбавление газов до безопасных концентраций озона перед их выбросом в атмосферу, деструкцию озона или его утилизацию.

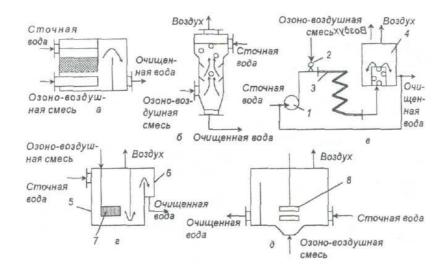


Рис. 11-62. Контактные аппараты для озонирования: a - c насадкой: b - c барботажная колонна с тарелками; b - c змеевиновым реактором; b - c барботажная колонна с пористой пластиной; b - c колонна с механическим смесителем турбинного типа: b - c насос; b - c инжектор-смеситель; b - c змеевик; b - c воздухоотделитель; b - c контактная камера; b - c сборная камера; b - c диффузор: b - c турбина

Для деструкции остаточного озона применяют адсорбцию, катализ или пиролиз. При адсорбции газы протекают через колонну с активным углем в виде зерен диаметром 1-6 мм. Недостатком процесса является то, что уголь легко сорбирует органические вещества. В результате он медленно окисляется по мере окисления органических веществ озоном. В среднем затрачивается 450 г активного угля на 1 кг озона.

Процесс очистки сточных вод значительно сокращается при совместном использовании ультразвука и озона, ультрафиолетового облучения и озона. Ультрафиолетовое облучение ускоряет окисление в 10^2 - 10^4 раз. Процесс окисления можно разделить на две стадии:

- 1) фотохимическое возбуждение молекул под действием УФоблучения;
 - 2) окисление озоном.

На первой стадии образуются высокоактивные в отношении озона свободные радикалы и соединения с низкой молекулярной массой, которые, поглощая свет, окисляются быстрее, чем исходные.

9.3. Удаление ионов тяжелых металлов

Во многих отраслях промышленности перерабатывают или применяют различные соединения ртути, хрома, кадмия, цинка, свинца. меди, никеля, мышьяка и другие вещества, что ведет к загрязнению ими сточных вод.

Для удаления этих веществ из сточных вод в настоящее время наиболее распространены реагентные методы очистки, сущность которых заключается в переводе растворимых в воде веществ в нерастворимые при добавлении различных реагентов с последующим отделением их от воды в виде осадков. Недостатком реагентных методов очистки является безвозвратная потеря ценных веществ с осадками.

В качестве реагентов для удаления из сточных вод ионов тяжелых металлов используют гидроксиды кальция и натрия, карбонат натрия, сульфиды натрия, различные отходы, например, феррохромовый шлак, который содержит (в %): CaO — 51.3: MgO — 9.2; SiO, — 27,4: Cr,O, — 4.13: AЦ), — 7.2: FeO — 0,73.

Наиболее широко используется гидроксид кальция. Осаждение металлов происходит в виде гидроксидов. Процесс проводится при различных значениях pH,

Значения рН, соответствующие началу осаждения гидроксидов различных металлов и полному осаждению (табл. П. 13), зависят от природы металлов, концентрации их в растворе: температуры, содержания примесей. Например, при совместном осаждении двух или нескольких ионов металлов при рН - const достигаются лучшие результаты, чем при осаждении каждого из металлов в отдельности. При этом образуются смешанные кристаллы и происходит адсорбция на поверхности твердой фазы ионов металлов, благодаря чему достигается более полная очистка от некоторых металлов.

Таблица 11.13. Значения рН в процессе осаждения гидроксидов металлов

Вид катиона	Значения рН	
	на чало осаждения*	полное осаждение**
Железо Fe ²⁺	7,5	9,7
Железо Fe ³⁺	2,3	4,1
Цинк Zn ²⁺	6,4	8,0
Хром Cr ³⁺	4,9	6,8
Никель Ni ²⁺	7,7	9,5
Алюминий Al ⁵⁺	40	5,2
Кадмий Cd ²⁺	8,2	9,7

Очистка от соединений мышьяка. Предельно допустимая концентрация мышьяка в водоемах равна 0,05 мг/л. Для очистки сточных вод от мышьяка применяют реагентные, сорбционные, электрохимические, экстракционные и другие методы. Выбор метода зависит от формы растворенного мышьяка, состава, кислотности и других показателей воды.

Для очистки больших объемов воды с высоким содержанием мышьяка практическое применение нашел метод химического его осаждения в виде трудно-растворимых соединений (арсенаты и арсениты щелочноземельных и тяжелых металлов, сульфиды и триоксид мышьяка).

Для очистки от кислородосодержащих соединений мышьяка широко применяют известковое молоко. При этом в зависимости от состава сточных вод и условий очистки (рН, температура, расход реагента) выпадают в осадок арсенаты и арсениты различного состава.

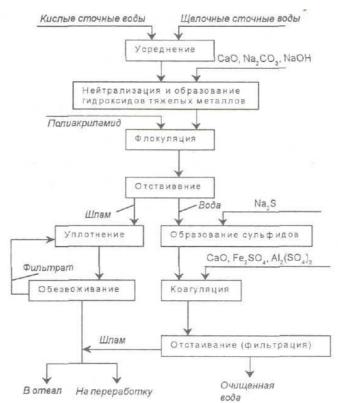


Рис.П-65. Схема реагентной очистки сточных вод от ионов Присутствие в сточных водах ионов тяжелых металлов повышает степень очистки от мышьяка, так как происходит осаждение арсенатов и арсенитов этих металлов.

Из сильно кислых растворов мышьяк осаждают сульфидом натрия, сероводородом. Очистку сульфидно-щелочных сточных вод от мышьяка, входящего в состав анионов тиосолей, приводят сульфатом железа (железным купоросом).

Соединения пятивалентного мышьяка удаляются из сточных вод лучше, чем трехвалентного. Кроме того, хранение осадков, содержащих пятивалентный мышьяк, дешевле, так как он менее растворим. Исходя из этого, соединения трехвалентного мышьяка перед осаждением окисляют до пятивалентного. В качестве окислителей используют хлорную известь, хлор, гипохлоритную пульпу, пероксид водорода, азотную кислоту, озон, пиролюзит и др.

Пиролюзит — природный материал, состоящий в основном из диоксида марганца, широко используют для окисления трехвалентного мышьяка. В кислой среде процесс протекает следующим образом:

$$H_aAsO_a + MnO_a + H_aSO_a = H_aAsO_a + MnSO_a + H_aO_a$$

Оптимальный режим окисления: расход MnO_2 — четырехкратный по сравнению со стехиометрическим, кислотность раствора 30-40 г/л серной кислоты, температура 70-80°C, время окисления 3 ч.

После окисления мышьяка проводят его осаждение в виде арсенита марганца при нейтрализации гидроксидом кальция (известковым молоком) до рН = 6-9. Затем осадок отфильтровывают и захороняют в водонепроницаемых траншеях.

Стоки с небольшой концентрацией мышьяка окисляют путем фильтрования воды через слой пиролюзита. Осаждение проводят известковым молоком в присутствии фосфат-ионов.

Кроме окислительной способности, пиролюзит обладает сорбционными свойствами. Величина сорбционной емкости его по трех- и пятивалентному мышьяку соответственно равна 12,6 и

29,9мг/л. При увеличении pH раствора количество сорбируемого мышьяка на пиролюзите и окислительная способность его уменьшаются. В кислых средах (pH<1) сорбционная способность падает, а окислительная возрастает.

Присутствующие в сточной воде другие катионы и анионы, сорбируясь на пиролюзите, ухудшают его окислительную способность.

Окислительная способность диоксида марганца постепенно снижается в результате процессов сорбции и заиливания поверхности зерен пиролюзита. Для активации пиролюзит обрабатывают концентрированной серной кислотой или едким натром. Кислота меньше десорбирует мышьяк, но полнее растворяет шлам, образующийся на поверхности пиролюзита.

VI. Литература.

Основная:

- 15. Родионов А. И., Клушин В. Н., Систер В. Г. Технологические процессы экологической безопасности. Издательство «Н. Бочкаревой», Калуга, 200 792 с.
- 16. Носков А. С., Пай 3. П. Технологические методы защиты атмосферы от вредных выбросов на предприятиях энергетики. Новосибирск, 1996 156с.
- 17. Глухов В. В., Лисичкина Т. В., Некрасова Т. П. «Экономические основы экологии». СПБ, «Специальная литература», 1997 304с.
- 18.Голубкина Н. А., Шалина М. А. Лабораторный практикум по экологии. М.: Форум ИНФРА, 2003. 56 с. (серия «Профессиональное образование»)
- 19. Экология производства. Научно-практический журнал №2, 2005 54c.
- 20. А.Н. Голицин. Промышленная экология и мониторинг загрязнения природной среды. Учебник/
 -МОРФ-М.:Оникс, 2007-336с.
- 21.Б.С. Ксенофонтов. Очистка воды и почвы флотации. М. : Новые технологии. 2004.- 224с.: ил. МОРФ.
- 22. Очистка сточных вод. Пер. с англ. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э.- М.: Мир, 2004. – 480 с., ил.
- 23.Б.Н.Рябчиков. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М.: Де Липринт, 2005. 226с. Уч.пос.
- 24.C.B. Яковлев, И.Г. Губий, И.И. Павленова, В.Н.Родин. Комплексное использование водных ресурсов. М. : Высшая школа, 2005.-384с. Уч.пос.
- 25.Обеззараживание ультрафиолетовым излучением воды, воздуха и поверхности. Технические материалы. Презентация НПО «ЛИТ» . Каталог объектов «ЛИТ».-НПО «ЛИТ», 2007CD.

- 26.* Ветошкин А.Г. Теоретические основы защиты окружающей среды: Учеб. пособ./ А.Г.Ветошкин. М.: ВШ, 2008. 397c. Доп. МО РФ.
- 27.Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты защиты окружающей среды: Учеб. пособ. А. Г. Ветошкин М.: ВШ, 2008. 638c. Доп. МО РФ.
- 28. Ларионов Н.М. Промышленная экология: учебник для бакалавров/ Н.М. Ларионов, А.С. Рябышенков. М.: Издательство Юрайт, 2013. 425с. Серия: Бакалавр. Базовый курс.

Дополнительная:

- 3. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. госкомгидромет., Л.: гидрометеоиздат, 1987. 92 с.
- 4. Сигал И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. Л.: Недра, 1988. 312 с.