

ОГЛАВЛЕНИЕ

Переводные коэффициенты в международную систему единиц	10
Основные условные обозначения	11
Предисловие	13
Введение	14
– Предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе	15
– Общие вопросы защиты воздушного бассейна предприятия	17
– Стандартизация в области защиты окружающей среды	19
Часть 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ ОЧИСТКИ ГАЗОВ	
<i>Глава 1.</i>	
Классификация и общая характеристика аэrodисперсных систем	21
1.1. Классификация аэрозолей	21
1.2. Распределение частиц по размерам	23
1.2.1. Распределение частиц аэрозоля по массе фракции	23
1.2.2. Счетное распределение	25
1.2.3. Связь между дифференциальными кривыми массового и счетного распределения	26
1.2.4. Формулы для описания дисперсного состава аэрозолей	26
1.2.5. Средние диаметры частиц аэрозоля	30
– Средние счетные радиусы частиц	30
1.3. Оценка эффективности улавливания пыли	34
1.4. Определение фракционного состава пыли	36
1.4.1. Методы определения фракционного состава без предварительного отбора проб.	36
1.4.2. Определение среднего размера частиц пыли по величине ее удельной поверхности	38
1.5. Определение запыленности газа	39
1.5.1. Пылезаборные трубы	40
– Простые пылезаборные трубы	40
– Трубы нулевого типа	40
1.5.2. Методы улавливания пыли при определении запыленности	41
1.5.3. Расчет запыленности газа	43
1.6. Определение скорости и количества газа	44
1.6.1. Измерение скорости газа анемометрами	44
1.6.2. Измерение скорости газа пневтометрическими трубками	44
1.6.3. Измерение количества газа дроссельными приборами	46
<i>Глава 2.</i>	
Физические условия образования аэрозолей	49
2.1. Физическая и химическая конденсация пара	49
2.2. Конденсация пара на ядрах конденсации	52
2.3. Гомогенная (спонтанная) конденсация пара	56
2.4. Ионы как ядра конденсации. Растворимые ядра.	59
2.5. Кинетика испарения и роста капель	63
<i>Глава 3.</i>	
Физические и физико-механические свойства аэрозолей	70
3.1. Сопротивление среды движению частиц	70
3.2. Молекулярно-кинетические свойства аэrodисперсных систем	73
3.3. Электризация аэрозолей	77
3.3.1. Зарядка частиц в электрическом поле	80
3.3.2. Диффузионная зарядка	84
<i>Глава 4.</i>	
Кинетика частиц (прямолинейное движение)	87
4.1. Движение частицы аэрозоля под действием силы тяжести в неподвижной среде	87

4.1.1. Движение в неподвижной среде при больших числах Рейнольдса	90
4.2. Движение частиц в потоке газа	92
4.3. Движение аэрозольной частицы переменной массы	93
4.4. Взаимодействие частицы аэрозоля в потоке с другими телами	98
4.4.1. Инерционное осаждение частиц аэрозоля на телах простой формы	100
<i>Глава 5.</i>	
Кинетика частиц (криволинейное движение)	104
5.1. Импакция частиц	104
5.2. Характеристики импакторов	106
5.3. Центрифугирование частиц	107
5.4. Циклоны	109
5.4.1. Анализ закономерностей движения частицы в циклоне	112
5.5. Основы теории аспирации (отбора) частиц	117
<i>Глава 6.</i>	
Коагуляция аэрозолей	120
6.1. Тепловая коагуляция	120
– Обобщение теории Смолуховского	124
6.1.1. Коагуляция частиц двух различных размеров	124
6.1.2. Приближенное описание коагуляции полидисперсных аэрозолей	125
6.1.3. Основы теории медленной коагуляции	126
6.2. Градиентная коагуляция	128
6.3. Кинематическая коагуляция	130
6.3.1. Механизм зацепления	130
6.3.2. Диффузионное осаждение	131
6.4. Условия удержания частиц аэрозоля на поверхностях	137
6.5. Турбулентная коагуляция	139
6.6. Акустическая коагуляция	140
6.6.1. Гидродинамические силы притяжения и отталкивания	145
6.6.2. Радиационное давление в акустическом поле	146
6.7. Электрическая коагуляция	152
6.7.1. Движение аэрозольных частиц в электростатическом поле	152
6.7.2. Тепловая коагуляция электрически заряженных частиц и рассеивание аэрозолей	153
6.7.3. Влияние биполярной зарядки	156
6.8. Основы теории очистки газов в электрофильтрах	158
6.8.1. Напряженность электрического поля в межэлектродном пространстве	158
6.9. Термофорез (использование температурного градиента для осаждения взвешенных частиц)	167
6.9.1. Термофоретические силы	167
6.9.2. Скорость термофореза	168
6.10. Общая форма дифференциального уравнения изменения дисперсного состава аэрозоля	170
<i>Глава 7.</i>	
Оптические свойства аэрозолей	174
7.1. Ослабление (экстинция) света — закон Бугера	175
7.2. Расчет коэффициентов эффективности	178
7.3. Индикаторика рассеяния	182
7.4. Практическое применение теории Ми	190
7.4.1. Спектры Тиндаля высшего порядка	190
7.4.2. Использование диаграммы рассеяния вперед	191
7.4.3. Измерение рассеяния единичной частицей	191
<i>Глава 8.</i>	
Очистка газовых потоков от примесей методом адсорбции	193
8.1. Адсорбционное равновесие в системе газ (пар) – микропористый адсорбент	194
8.1.1. Адсорбционное равновесие на активных углях	199
8.1.2. Адсорбционное равновесие на цеолитах	199
8.2. Методы расчета адсорбционных процессов	200
8.2.1. Расчет процесса адсорбции в неподвижном слое адсорбента	201
8.2.2. Расчет процесса адсорбции в движущемся слое	212
8.2.3. Взвешенный слой адсорбента	215
8.2.4. Адсорбция с использованием микросферических адсорбентов в условиях пневмотранспорта	218
8.3. Методы интенсификации адсорбционных процессов	220

8.4. Регенерация адсорбентов	224
8.4.1. Десорбция	224
8.4.2. Высокотемпературная реактивация адсорбентов	230
8.4.3. Экстракционный метод реактивации адсорбентов	232
Глава 9.	
Очистка газовых потоков от примесей методом абсорбции	235
9.1. Промышленные адсорбенты. О статике абсорбционных процессов	235
9.2. Элементы кинетики абсорбционных процессов	240
9.3. Регенерация адсорбентов	245
9.4. Методы расчета абсорбционных процессов	246
9.4.1. Построение кривых концентрации для противотока и прямотока	247
9.4.2. Расчет многоступенчатого противоточного каскада	249
9.4.3. Абсорбер с псевдоожженным слоем шаровой насадки	254
9.4.4. Абсорбер с псевдоожженной кольцевой насадкой	261
Глава 10.	
Ионообменная очистка газовых потоков	265
10.1. Иониты. Физическая сущность процесса	265
10.1.1. Поглощение аммиака	266
10.1.2. Поглощение диоксида углерода	267
10.1.3. Поглощение диоксида серы	269
10.2. Методы интенсификации очистки газовых потоков ионитами	271
10.2.1. Применение ионитов различных форм	271
10.2.2. Смешанные иониты	272
10.2.3. Волокнистые углеродистые иониты	272
10.3. Регенерация ионитов	273
10.4. Расчет промышленных ионообменных аппаратов	274
Глава 11.	
Диффузия аэрозолей в атмосфере	276
11.1. Тurbулентная диффузия и атмосферная турбулентность	277
11.1.1. Параметры и критерии, определяющие концентрацию аэрозоля в приземном слое воздуха	277
11.1.2. Подъем дымового факела над устьем трубы	281
11.1.3. Основные теории и методы атмосферной диффузии	284
11.2. Зависимость концентрации примесей от времени осаждения	287
11.3. Методы расчета концентрации примеси. Максимальные приземные концентрации	292
11.3.1. Наземный источник	296
11.3.2. Возвышенный источник	297
11.3.3. Осаждение аэрозолей из атмосферы	299
11.3.4. Выпадение пыли, выбрасываемой дымовыми трубами	300
11.3.5. Вымывание пыли дождем	303
11.4. Методики расчета рассеивания вредных выбросов и выбор дымовой трубы	304
Часть 2. ГАЗООЧИСТНЫЕ АППАРАТЫ	
Глава 12.	
Сухие механические пылеуловители	310
12.1. Пылеосадительные камеры	310
12.2. Инерционные пылеуловители	315
12.3. Циклоны	319
12.3.1. Типы циклонов и основные правила их эксплуатации	321
12.3.2. Циклоны типа ЦН-15	322
12.3.3. Циклоны типа ЦН-15 во взрывобезопасном исполнении	325
12.3.4. Групповые циклоны	326
12.3.5. Конические циклоны конструкции НИИОгаза	328
12.3.6. Конические циклоны типа СКЦН-34	328
12.3.7. Циклоны СИОТ	331
12.3.8. Определение гидравлического сопротивления и размеров циклона	333
12.3.9. Расчет производительности циклонов	335
12.3.10. Расчет эффективности циклонов	336
12.3.11. Батарейные циклоны	343
12.3.12. Батарейные циклоны БЦ-2	345

12.3.13. Батарейные циклоны ПБЦ	347
12.3.14. Батарейные циклоны ЦБ-254Р	349
12.3.15. Батарейные циклоны ЦБР-150У	350
12.3.16. Расчет батарейных циклонов	352
12.4. Вихревые пылеуловители	354
12.5. Ротационные пылеуловители	356
<i>Глава 13.</i>	
Аппараты мокрой очистки газов	358
13.1. Полые форсуночные скруббера	359
13.1.1. Входные характеристики полых форсуночных скрубберов	363
– Механические форсунки	363
– Плоскофакельная форсунка	365
– Пневматические форсунки	367
13.1.2. Типовые параметры полых скрубберов	368
13.1.3. Тепло- и массообмен в слое	370
13.1.4. Расчет эффективности мокрых пылеуловителей	373
– Энергетический метод расчета мокрых пылеуловителей	373
13.1.5. Гидравлическое сопротивление мокрых пылеуловителей	377
13.2. Скруббера Вентури	380
13.2.1. Устройство и работа	380
– Дробление жидкости и захват пыли каплями в трубе Вентури	381
– Теоретические основы улавливания пыли в скруббере Вентури	382
– Теплообмен в трубе Вентури	385
– Организация орошения труб Вентури	386
– Различные типы скрубберов Вентури	387
– Расчет скрубберов Вентури	391
13.2.2. Унифицированные типоразмеры скрубберов Вентури	394
13.2.3. Брызгонос и сепарация капель	398
– Гравитационные каплеуловители	398
– Инерционные каплеуловители	398
– Центробежные каплеуловители	400
13.3. Насадочные газопромыватели	402
13.3.1. Улавливание пыли в насадочных скрубберах	404
13.4. Тарельчатые газоочистные аппараты	406
13.5. Скруббера с подвижной насадкой	410
13.5.1. Конические скруббера с подвижной шаровой насадкой	412
13.5.2. Скруббера с колеблющейся насадкой	413
13.6. Мокрые аппараты ударно-инерционного действия	414
13.6.1. Пылеуловитель типа ПВМ	414
13.6.2. Саморегулирующийся газопромыватель	415
13.6.3. Гидродинамический пылеуловитель типа ПВ-2	416
13.6.4. Скруббер Дойля	416
13.7. Мокрые аппараты центробежного действия	417
13.7.1. Циклон с водяной пленкой (ЦВП)	419
13.7.2. Скоростной промыватель СИОТ	420
13.7.3. Центробежный скруббер с тангенциальным подводом газов	421
13.7.4. Аппарат ЦПА	422
13.7.5. Ротоклон типа "R"	423
13.7.6. Центробежный скруббер батарейного типа СЦИБ-20	423
13.8. Мокрые пылеуловители с внутренней циркуляцией жидкости	424
13.8.1. Конструкции мокрых пылеуловителей с внутренней циркуляцией жидкости и их классификация	424
13.8.2. Организация гидродинамического взаимодействия фаз	428
13.8.3. Гидравлическое сопротивление и гидродинамический КПД	431
13.8.4. Механизм улавливания пыли	434
13.8.5. Перспективные конструкции МП ВЦЖ	438
13.9. Водное хозяйство мокрых газоочисток	441
<i>Глава 14.</i>	
Очистка газов фильтрованием	444
14.1. Характеристики пористой перегородки	445
14.2. Определение эффективности и гидравлического сопротивления пористого фильтра	446
14.3. Фильтры тонкой очистки	449

4.4. Воздушные фильтры	451
14.4.1. Воздушные фильтры III класса	451
– Ячейковые (кассетные) сеточные фильтры	451
– Масляные самоочищающиеся фильтры	452
– Рулонные (катушечные) автоматические фильтры	453
14.4.2. Воздушные фильтры II класса	454
14.4.3. Воздушные фильтры I класса	454
4.5. Промышленные фильтры	454
14.5.1. Общие сведения	454
14.5.2. Фильтровальные материалы	456
– Шерстяные и смешанные ткани	457
– Ткани из синтетических волокон	457
– Нитроновые ткани	457
– Лавсановые ткани	457
– Оксалоновые ткани повышенной термостойкости	457
– Стеклянные ткани	459
– Нетканые материалы	460
4.6. Конструкции промышленных фильтров	460
14.6.1. Классификация промышленных фильтров по их конструктивным признакам	460
– Классификация по типу фильтрующих элементов	460
– Классификация по системе регенерации. Фильтры с посекционной и поэлементной системой регенерации	461
– Классификация по типу устройств регенерации	462
14.6.2. Основные типы фильтров	463
– Фильтры с посекционной регенерацией	463
– Фильтры с поэлементной регенерацией	465
14.6.3. Фильтрующие элементы	468
– Бескаркасные рукава	468
– Жесткокаркасные цилиндрические фильтрующие элементы	470
– Жесткокаркасные нецилиндрические фильтрующие элементы	470
14.6.4. Элементы продувочных систем	471
– Запорные клапаны	471
– Устройства импульсной продувки	472
– Устройства струйной продувки	472
14.6.5. Механические устройства регенерации	473
– Механизмы вертикального встreichивания	473
– Механизмы качания рукавов	476
– Механизмы вращения рукавов	476
– Вибрационные механизмы	476
4.7. Серийно выпускаемые промышленные рукавные фильтры и их характеристики	477
14.7.1. Рукавные фильтры типа ФРКИ	477
14.7.2. Рукавные фильтры типа ФРКДИ	478
14.7.3. Рукавные фильтры типа ФРО	479
14.7.4. Рукавные фильтры типа УРФМ	480
14.7.5. Фильтры типа СМЦ	481
14.7.6. Рукавный фильтр РФСП-1580	481
4.8. Зернистые фильтры	482
14.8.1. Слоевые насыпные зернистые фильтры	482
14.8.2. Зернистые жесткие фильтры	482
– Металлокерамические фильтры	483
– Керамические фильтры	483
4.9. Волокнистые фильтры капле- и туманоуловители	484
14.9.1. Низкоскоростные мокрые волокнистые фильтры	484
14.9.2. Высокоскоростные мокрые волокнистые фильтры	485
14.9.3. Двухступенчатые мокрые волокнистые фильтры	486
14.9.4. Сеточные брызгоуловители	486
4.10. Расчет тканевых (рукавных) фильтров	486
14.10.1. Расчет фильтров по скорости фильтрации \bar{W}_Φ , выбранной по опытным эксплуатационным данным	487
14.10.2. Расчет скорости фильтрации по гидравлическому сопротивлению	487
<i>Глава 15.</i> Электрофильтры	491

15.1. Классификация и конструкции электрофильтров	491
15.1.1. Элементы конструкций электрофильтров	491
15.1.2. Однозонные унифицированные сухие электрофильтры	494
– Электрофильтры серии УГ	495
– Электрофильтры серии ЭГА	496
– Электрофильтр серии ЭГТ	499
– Электрофильтры серии УВ	500
– Электрофильтры УВВ (ЭВВ)	501
15.1.3. Мокрые трубчатые однозонные электрофильтры типа ДМ	502
– Электрофильтры серий С и ПГ	503
15.1.4. Двухзонные электрофильтры	504
15.2. Электрическое оборудование электрофильтров	505
15.2.1. Способы повышения напряжения и выпрямления тока	505
15.2.2. Методы регулирования напряжения на электродах	507
15.2.3. Агрегаты питания электрофильтров	508
– Агрегаты питания типа АФАСи АРС	509
– Агрегаты питания типа АИФ	509
– Агрегаты питания типа АУФ	509
– Агрегаты питания серии АТФ. Прибор регулирования ПРТ	509
– Агрегаты питания серии АТПОМ	513
– Прибор регулирования ПВП	515
– Прибор дистанционного управления ПДУ	518
– Выбор агрегатов питания	518
15.2.4. Высоковольтный кабель для электрофильтров	519
15.3. Преобразовательные подстанции	520
15.4. Эксплуатация электрофильтров	521
15.4.1. Влияние различных факторов на работу электрофильтра	521
15.4.2. Электрические режимы питания электрофильтров	522
15.4.3. Эксплуатация электрофильтров	524
15.4.4. Выбор и расчет эффективности электрофильтров	525
Глава 16.	
Адсорбенты для улавливания газообразных примесей	527
16.1. Промышленные адсорбенты. Особенности структуры и адсорбционной способности	527
16.2. Адсорбционные аппараты	534
Глава 17.	
Абсорбера и ионообменные аппараты	544
17.1. Интенсификация и аппаратурное оформление абсорбционных процессов	545
17.1.1. Поверхностные абсорбера	545
17.1.2. Барботажные абсорбера	550
17.1.3. Распыливающие абсорбера	554
17.1.4. Абсорбера с секционированными тарелками	557
17.1.5. Сепараторы	559
17.2. Современное аппаратурное оформление процессов ионообменной очистки	561
Глава 18.	
Охлаждение газов перед очисткой	563
18.1. Охлаждение газов подмешиванием атмосферного воздуха	563
18.2. Охлаждение газов в поверхностных теплообменниках	564
18.3. Охлаждение газов при непосредственном контакте с водой	566
Глава 19.	
Газоотводящие тракты	568
19.1. Компенсаторы газоходов	568
19.2. Предохранительные клапаны	571
19.3. Газопереключающие и регулирующие устройства на газоходах	576
19.4. Вентиляторы и дымососы	579
19.4.1. Основы аэродинамического расчета газоотводящего тракта	579
19.4.2. Выбор вентиляторов, дымососов и электродвигателей	581
19.4.3. Основные технические параметры вентиляторов и дымососов, используемых в системах пылеулавливания ...	582

Часть 20.	
Грузка и транспортировка уловленной пыли	591
Устройство для сухой выгрузки пыли	591
20.1.1. Устройства для непрерывной выгрузки пыли	591
20.1.2. Устройства для периодической выгрузки пыли	594
Устройства для мокрой выгрузки пыли	595
Транспортировка пыли	596
20.3.1. Сухая механическая транспортировка	596
- Винтовые конвейеры	596
- Цепные транспортеры	597
- Загрузочная установка	598
20.3.2. Пневматический транспорт	599
- Высоконапорная система пылетранспорта	600
- Низконапорная система пылетранспорта	604
- Вакуумная система пылетранспорта	605
- Вакуум-насосы, воздуходувки и компрессоры для пневматического транспорта	607
- Комбинированные системы пылетранспорта	607
- Аэрожелобы	607
- Смешанный пылетранспорт	609
- Трубопроводы для пневматического транспорта	609
- Устройства для выделения пыли из транспортирующего ее воздуха.	
Накопительные бункера и донные выгружатели	613
20.3.3. Массовая и объемная концентрация пыли в системах пневмотранспорта	615
20.3.4. Скорость транспортирующего воздуха в трубопроводах пневматического транспорта	616
Часть 21.	
Контроль и автоматизация пылеулавливающих установок	617
Основные контролируемые параметры	617
Автоматические приборы для определения запыленности газов косвенными методами	618
Некоторые автоматизируемые процессы установок пылеулавливания	618
21.3.1. Температурный режим	618
21.3.2. Манометрический режим	618
21.3.3. Отряхивание электродов	619
21.3.4. Распределение газов	619
Некоторые серийно выпускаемые регистрирующие, сигнальные и регулирующие приборы	619
21.4.1. Измерение температуры	619
21.4.2. Измерение статических напоров и разности напоров	622
21.4.3. Прибор регулирования нагрева изоляторов электрофильтров	624
21.4.4. Прибор автоматического управления механизмами отряхивания и вибрации (типа ПВВ)	624
21.4.5. Программное устройство управления регенерацией рукавных фильтров ПУРФ-1М для рукавных фильтров типа ФРКИ и ФРКДИ	625
21.4.6. Анализ газов	626
21.4.7. Индикаторы уровня	627
Приложение 1.	
Содержание водяных паров и влагосодержание газов при насыщении и давлении смеси 0,101 МПа	629
Приложение 2.	
Основные физические свойства газов	629
Приложение 3.	
Формулы для пересчета основных характеристик газов применительно к различным условиям	630
Приложение 4.	
Технические характеристики вентиляторов и дымососов	632
Приложение 5.	
Примеры расчета циклона и рукавного фильтра	633
Библиографический список	637