

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Очистка газов от промышленных выбросов. Общие вопросы	5
1.1. Источники пылеобразования в промышленности	5
1.2. Основные физико-химические свойства золы и пылей	8
1.2.1. Химический состав частиц	8
1.2.2. Плотность частиц	9
1.2.3. Адгезионные свойства	10
1.2.4. Абразивность	11
1.2.5. Удельное электрическое сопротивление	12
1.2.6. Электрическая заряженность частиц	13
1.2.7. Смачиваемость частиц	13
1.2.8. Способность пылей к самовозгоранию и образованию взрывчатых смесей	14
1.3. Состав и физические свойства газов	15
1.3.1. Плотность и вязкость газов	15
1.3.2. Влажность газов	16
1.3.3. Расход газов	18
1.3.4. Запыленность газов	19
1.4. Закономерности распределения частиц пыли по диаметрам. Функции распределения и их графическое изображение	20
1.4.1. Логарифмически нормальное распределение массы пыли по диаметрам	24
1.4.2. Эмпирические зависимости	26
Контрольные вопросы	27
2. Газоочистные аппараты	28
2.1. Основы классификации газоочистных аппаратов	28
2.2. Оценка эффективности пылеуловителей	30
2.3. Расчет общей степени очистки по результатам дисперсного состава пыли	33
2.4. Гравитационное осаждение пыли	35
2.4.1. Свободное осаждение	35
2.4.2. Стесненное осаждение	44
Контрольные вопросы	46
3. Инерционные пылеуловители	47
3.1. Сепарация частиц пыли из криволинейного потока газа	47
3.2. Жалюзийные пылеуловители	48
3.2.1. Особенности и схемы работы жалюзийных пылеуловителей	49
3.2.2. Факторы, влияющие на работу жалюзийных пылеуловителей	53

3.2.3. Расчет жалюзийных пылеуловителей	55
3.3. Радиальные пылеуловители	59
3.4. Улавливание пыли в циклонах	61
3.4.1. Физические основы циклонного процесса	62
3.4.2. Типы циклонов и основные правила их эксплуатации	65
3.4.3. Определение гидравлического сопротивления и размеров циклона	74
3.4.4. Расчет эффективности циклонов	77
3.4.5. Расчет и выбор циклонов	79
3.5. Батарейные циклоны (мультициклоны)	80
3.5.1. Выбор циклонных элементов и расчет эффективности улавливания пыли в батарейном циклоне	87
3.6. Вихревые пылеуловители	91
3.7. Ротационные пылеуловители	93
Контрольные вопросы	96
4. Очистка газов фильтрованием	97
4.1. Общие сведения о процессе фильтрования	97
4.2. Характеристика пористой перегородки	98
4.3. Механизмы процесса фильтрования	100
4.4. Определение эффективности и гидравлического сопротивления пористого фильтра	104
4.5. Различные типы фильтров	108
4.5.1. Волокнистые фильтры	109
4.5.2. Тканевые фильтры	117
4.5.3. Зернистые и металлокерамические фильтры	135
4.5.4. Фильтры-туманоуловители	139
Контрольные вопросы	141
5. Электрическая очистка газов	142
5.1. Основные положения	142
5.2. Физические основы электрической очистки газов	146
5.3. Вольтамперные характеристики коронного разряда	154
5.4. Теоретическая эффективность электрической очистки газа	159
5.5. Методы расчета и выбора электрофильтров	161
5.6. Определение мощности необходимой для питания электрофильтров	165
5.7. Факторы, влияющие на эффективность работы электрофильтров	167
5.8. Основные типы электрофильтров	172
5.8.1. Сухие электрофильтры	173
5.8.2. Мокрые электрофильтры	175
Контрольные вопросы	179
6. Основы мокрой очистки газов	180

6.1. Мокрая очистка газов и область ее применения	180
6.2. Захват частиц пыли жидкостью	180
6.3. Энергетический метод расчета мокрых пылеуловителей	184
6.4. Тепло- и массообмен в мокрых пылеуловителях	186
6.5. Пылеулавливающие аппараты с промывкой газа жидкостью	189
6.5.1. Форсуночные скрубберы	189
6.5.2. Скрубберы Вентури	195
6.5.3. Расчет скрубберов Вентури	202
6.6. Пылеуловители с осаждением пыли на пленку жидкости	206
6.6.1. Мокрые аппараты центробежного действия	206
6.6.2. Мокрые аппараты ударно-инерционного действия	210
6.6.3. Тарельчатые газоочистные аппараты	215
6.7. Брызгоунос и сепарация капель	222
6.8. Водное хозяйство и эксплуатация мокрых газоочисток	225
Контрольные вопросы	228
7. Защита атмосферы от газообразных загрязняющих примесей	229
7.1. Основы процесса физической абсорбции	229
7.2. Материальный баланс процесса абсорбции	230
7.3. Коэффициенты массопередачи при абсорбции	232
7.4. Абсорбционные аппараты и установки	233
7.5. Основы расчета абсорберов	235
7.6. Физические основы процесса адсорбции	237
7.7. Виды и характеристики адсорбентов	239
7.8. Устройство и основы расчета адсорберов с неподвижным слоем поглотителя	240
7.9. Адсорберы с кипящим слоем поглотителя	241
7.10. Ионообменная очистка газов	242
Контрольные вопросы	244
Библиографический список	245
Оглавление	246

ВВЕДЕНИЕ

Воздух – важнейшая составная часть среды обитания всего живого, основа жизни на Земле, в том числе жизни человека.

Основными источниками антропогенного загрязнения атмосферы химическими веществами, поступающими в воздух в газообразном, жидком или твердом состоянии, являются *промышленность, в частности энергетика и транспорт*. Кроме того, в атмосферу постоянно поступают загрязняющие вещества природного происхождения, состоящие главным образом из таких компонентов, как морская соль, дым и газ лесных и степных пожаров, извержений вулканов, пыль, возникающая из-за эрозии почв, а также растительного, животного и космического происхождения.

Загрязнение воздушной среды выбросами антропогенного характера, т.е. изменение её природного состава из-за пыли, выхлопных газов или пахучих веществ, в зависимости от вида загрязнения, концентрации примесей и срока их воздействия, нарушает равновесие экологических систем, ухудшает санитарно-гигиеническое состояние атмосферного воздуха и наносит ущерб здоровью населения. Помимо защиты воздушного бассейна, очистка промышленных газов от содержащихся в них твердых и газообразных примесей необходима в целом ряде технологических процессов – для извлечения из газов ценных продуктов; для извлечения примесей, затрудняющих проведение технологического процесса, повышающих износ оборудования и т. д.

Увеличение производства и потребления черных и цветных металлов, пластмасс, строительных и других материалов, потребления энергии, развитие транспорта привели к резкому увеличению выбросов дымовых и технологических газов с высоким содержанием пыли и вредных газовых соединений. Можно утверждать, что в крупных промышленных центрах создан искусственный микроклимат антропогенного характера, который весьма существенно отличается от природной среды обитания.

Загрязненный воздух оказывает вредное воздействие не только на людей и животных, но и на растительный мир, а также наносит огромный материальный ущерб, повышая коррозию металлов, разрушая строительные конструкции и пр. Важность проблемы охраны чистоты атмосферного воздуха и опасность все усиливающегося его загрязнения оценена во всем мире.

Большую роль в защите атмосферы от техногенных выбросов играют инженерные методы очистки и утилизации промышленных выбросов. Все промышленные газы образуются в технологических агрегатах и передаются по газопроводам или трубопроводам, которые снабжаются газоочистными устройствами. В настоящее время техника защиты атмосферы от вредного воздействия техногенных выбросов достигла такого уровня развития, что представляется возможным выделить из отходящих промышленных газов

как твердые частицы, так и газообразные компоненты практически полностью.

Важнейшими инженерными задачами в области охраны атмосферы являются: правильный выбор газоочистного оборудования, компоновка его в единую схему, оптимизация условий работы, грамотная эксплуатация и ремонт.

Наиболее кардинальным решением задачи защиты воздушного бассейна от техногенных выбросов является глубокая очистка газовых выбросов инженерными методами. Для решения этой задачи, помимо создания новых технологий и эффективного газоочистного оборудования, требуются высокопрофессиональные специалисты, роль которых как раз и заключается в научном исследовании физико-химических процессов, лежащих в основе улавливания и нейтрализации различных вредных составляющих промышленных технологий, дальнейшем проектировании и эксплуатации газоочистного оборудования, разработке и внедрении в производство эффективных газоочистных комплексов для снижения или полного исключения промышленных выбросов в атмосферу.

Настоящее учебное пособие предназначено для очной и заочной форм обучения по направлению 140000 – «Энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника». Структура и содержание учебного пособия определяется образовательным стандартом Федерального агентства по образованию РФ. В пособии приведены основные понятия и определения, необходимые для практической деятельности инженера-теплоэнергетика по специальности 140101.65 – тепловые электрические станции и 140104.65 – промышленная теплоэнергетика. Учебное пособие составлено на основе известных монографий, справочников и научных статей, которые приведены в списке литературы.

1. ОЧИСТКА ГАЗОВ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

1.1. Источники пылеобразования

В промышленности в результате переработки различного сырья и полуфабрикатов путем *механического, термического и химического* воздействия на них образуются отходящие промышленные газы, в которых содержатся взвешенные частицы.

Пыль в газах, отходящих от цементных и сырьевых сушилок, мельниц, печей обжига и т. д., является следствием осуществления механических процессов измельчения твердых тел (дробления, размалывания, перемешивания, истирания и прочих технологических процессов), пересыпки, транспортировки сыпучих материалов. В дымовых, генераторных, доменных, коксовых и других подобных газах содержится пыль, образующаяся в процессе горения топлива. Как продукт неполного сгорания органических веществ и топлива при недостатке воздуха образуется и уносится сажа. Если в газах содержатся какие-либо вещества в парообразном состоянии, то при охлаждении до определенной температуры пары конденсируются и переходят в жидкое или твердое состояние. *Примерами взвесей, образовавшихся путем конденсации, могут служить: туман серной кислоты в отходящих газах выпарных аппаратов, туман смол в генераторных и коксовых газах, пыль цветных металлов (цинка, олова, свинца, сурьмы и т. д.) с низкой температурой испарения в газах. Пыли, образующиеся в результате конденсации паров, называются возгонами.*

Газы (в том числе и воздух), содержащие взвешенные частицы, относятся к аэродисперсным системам. *Дисперсными* принято называть системы, состоящие из мелкодробленых частиц (дисперсная фаза), распределенных в какой-либо дисперсионной среде (воде, растворителе, воздухе).

Аэродисперсными системами, или аэрозолями, называют системы, в которых дисперсионной средой является газ, а дисперсной фазой – твердые (пыль) или жидкие (туман) частицы. Дисперсная фаза может состоять из частиц одинакового размера (монодисперсная система) или из частиц разного размера (полидисперсная система). Промышленные газы обычно представляют собой сложные аэродисперсные системы, в которых дисперсионная среда является смесью разных газов, а взвешенные частицы полидисперсны и имеют различное агрегатное состояние.

Взвешенные частицы в зависимости от размера распределяются на *фракции*. Размер взвешенных частиц выражается чаще всего в микрометрах (мкм). Иногда частицы классифицируют по скорости витания. *Фракцией называют массовую долю частиц, размеры которых находятся в интервале значений, принятых в качестве нижнего и верхнего пределов. Частицу*

произвольной формы условно считают шарообразной, а ее размер определяют по эквивалентному диаметру.

Таблица 1.1
Концентрация взвешенных частиц в промышленных газах

Источник образования газов	Средняя концентрация взвешенных частиц, $г/м^3$	Содержание взвеси по отношению к готовому продукту, % (по массе)
1	2	3
<i>Металлургическая промышленность</i>		
Конвертеры: для выплавки стали с продувкой кислорода сверху	20–40	1–5
для переработки меди	6–10	3–6
Печи: доменные	10–40	4–16
шахтные		
и отражательные для выплавки свинца и олова	3–20	3–12
мартеновские без подачи кислорода в ванну	1–2	0,15–0,3
то же с подачей кислорода в ванну	10–15	1,5–2,5
для плавки латуни	1–5	2–4
<i>Обработка угля</i>		
Мельницы	20–50	2–3
Сушилки:		
для бурого угля	12–25	6–12
для каменного угля	10–20	3–5
<i>Химическая промышленность</i>		
Концентраторы серной кислоты	6–20	1,5–6,0
Печь для обжига колчедана в кипящем слое	50–200	–

Окончание табл. 1.1

1	2	3
<i>Цементная промышленность</i>		
Вращающиеся печи: при мокром способе производства	20–50	6–15
при сухом способе производства	30–60	8–12
Сушилки для сырья	20–80	8–25
Цементные мельницы	20–50	3–6
<i>Электрические печи</i>		
Карбидные	0,9–2,0	1–2
Для выплавки стали	2–10	1,5–7
Для выплавки алюминия	0,5–1,6	0,5–1,5
Фосфорные	2,1–9,0	0,5–2,5

При выборе метода и аппарата для очистки газов необходимо установить происхождение газовых взвесей, так как возможность разделения газовой неоднородной системы определяется главным образом размерами взвешенных частиц, а они зависят от условий образования взвесей. В большинстве случаев взвеси, образовавшиеся в результате механических процессов, состоят из частиц диаметром 5–50 мкм и более; взвеси, образовавшиеся в результате термических и химических процессов, состоят из частиц диаметром до 3 мкм, а взвеси, получающиеся в результате горения, – в основном из частиц диаметром 5–70 мкм.

Очень мелкие частицы, входящие в состав конденсированных взвесей, во многих случаях могут соединяться в более крупные агрегаты. Такое явление укрупнения частиц называется *коагуляцией*. Оно возникает при столкновении частиц. К коагуляции склонны мелкие частицы. Частицы размером более 100 мкм почти не коагулируют.

В большинстве случаев взвешенные в газах частицы обладают положительным или отрицательным электрическим зарядом.

Пыли заряжаются в процессе дробления или распыления материала, при трении или контакте с поверхностью оборудования и коммуникаций, движении через раскаленную среду.

Дымы заряжаются при движении через раскаленные среды в результате ионизации в пламени, термоионной и фотоэлектрической эмиссии электронов.

Туманы заряжаются в результате распыления, при барботировании газов через жидкости. Кроме того, взвешенные частицы могут заряжаться в результате химических реакций, под действием рентгеновского или радиоактивного излучения и электрической индукции. Этот естественный электрический заряд взвешенных частиц условно называют *трибозаряд*.

Число положительно заряженных частиц в аэрозолях может равно числу отрицательно заряженных, что наблюдается при однородном химическом составе аэрозоля.

1.2. Основные физико-химические свойства золы и пылей

Надежность и эффективность работы систем газоочистки в значительной мере зависят от физико-химических свойств золы или пыли и от основных параметров газовых потоков, которые должны учитываться как при проектировании систем газоочистки, так и при организации их эксплуатации. Рассмотрим основные свойства золы и пыли.

1.2.1. Химический состав частиц

Химический состав пыли является существенным параметром при проектировании и эксплуатации газоочистного оборудования. Он всегда является характерным для данного производства. Например, пыль, образующаяся во время плавки металлов, состоит из оксидов этих металлов, флюсов и добавок; пыль, выделяющаяся при обработке металлов абразивным инструментом, содержит мелкие частицы металла и абразивного инструмента; текстильная пыль состоит из мельчайших частиц перерабатываемых волокон и т. д.

По химическому составу пыли судят о ее токсичности. Зная химический состав пыли, можно обоснованно выбрать мокрый или сухой способ очистки газа. Если пыль содержит компоненты, способные образовывать с водой или другой жидкостью, подаваемой на орошение аппаратов, соединения, которые при оседании на стенках аппаратов и газоходов трудно удалить, применять мокрый способ очистки нельзя. При наличии в руде серы во время металлургических процессов в газ переходят ее оксиды, которые при мокром способе очистки образуют кислоты. В этом случае необходимо применять меры по защите аппаратов и газоходов от коррозии и обеспечивать нейтрализацию шламовых вод. При наличии в составе пыли оксидов кремния необходимо принимать меры по защите аппаратов и газоходов от истирания. Учет химического состава пыли является обязательным при проектировании газоочистных аппаратов.

Для получения полноценной версии необходимо обращаться по адресу...



«Лаборатория информационных технологий в энергетике»,
Кафедра «Тепловые электрические станции»
Красноярского государственного технического университета
e-mail: boiko@krgtu.ru
р.т.: (8-3912) 49-72-99, 49-74-63
660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26
Красноярский государственный технический университет