

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

(7 семестр)

ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ



лектор: д.т.н. профессор
РОСЛЯКОВ Павел Васильевич

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Экология: учебник и практикум для академических бакалавров/Под ред. О.Е. Кондратьевой – М.: Издательство Юрайт, 2016.
2. Экотехника. Аппаратура процессов очистки промышленных газов и жидкостей: учебное пособие/Под общей ред. Л.В. Чекалова, А. В. Сугака – Ярославль: Издательство Ярославского государственного технического университета, 2013.
3. Очистка газов от дисперсной фазы в нефтехимическом комплексе и энергоресурсосбережение/Под ред. А.Г. Лаптева – Казань, Издательство «Отечество», 2014.
4. Экотехника. Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов/под ред. Л.В. Чекалова – Ярославль: Издательство «Русь», 2004
5. Ветошкин А.Г. Процессы инженерной защиты окружающей среды (теоретические основы): учебное пособие. – Издательство Пензенского государственного университета, 2004.

**ОСНОВНЫЕ
ЗАГРЯЗНИТЕЛИ
АТМОСФЕРНОГО
ВОЗДУХА**

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН
№ 96-ФЗ от 4 мая 1999 года
Об охране атмосферного воздуха

Атмосферный воздух - жизненно важный компонент окружающей природной среды, представляющий собой **естественную смесь газов атмосферы, находящуюся за пределами жилых, производственных и иных помещений**

Вредное (загрязняющее) вещество - **химическое или биологическое вещество либо смесь таких веществ**, которые содержатся в атмосферном воздухе и которые **в определенных концентрациях** оказывают вредное воздействие на здоровье человека и окружающую природную среду

Загрязнение атмосферного воздуха - **поступление** в атмосферный воздух **или образование** в нем вредных (загрязняющих) веществ в концентрациях, **превышающих установленные государством гигиенические и экологические нормативы качества атмосферного воздуха.**

В числе загрязняющих веществ могут быть как свойственные атмосфере, так и чуждые ей.

СРЕДНИЙ ГАЗОВЫЙ СОСТАВ СУХОГО АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Элемент или соединение	Химическая формула	Концентрация % об.	Среднее время пребывания в атмосфере
Азот	N_2	78,09	10^6 - $2 \cdot 10^7$ лет
Кислород	O_2	20,94	$5 \cdot 10^3$ - 10^4 лет
Диоксид углерода	CO_2	0,0315	2-4 года
Гелий	He	0,00052	10^6 - 10^7 лет
Вода	H_2O	0,00005	5-10 суток
Метан	CH_4	0,0001	4-7 лет
Оксид углерода	CO	0,00001	2-6 месяцев
Озон	O_3	0,000002	5-7 суток
Аммиак	NH_3	0,000001	2.5-4 года
Гемиоксид азота	N_2O	0,000025	5-9 суток
Оксид азота	NO	0,00000007	8-11 суток
Диоксид азота	NO_2	0,0000001	2-4 суток
Диоксид серы	SO_2	0,00000002	0.5-4 суток
Углеводороды	C_xH_y	$<10^{-8}$	несколько суток

ЧИСТЫЙ АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

Воздух считается чистым, если ни один из компонентов не присутствует в концентрациях, способных нанести ущерб здоровью человека, животным, растительности или вызвать ухудшение эстетического восприятия окружающей среды (например, при наличии пыли, грязи, неприятных запахов или при недостатке солнечного освещения в результате задымленности воздуха).

КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Загрязнение окружающей среды по виду воздействия разделяют на:

Механическое - загрязнение окружающей среды агентами, которые оказывают механическое воздействие (например, захламление мусором разных видов);

Химическое - загрязнение химическими веществами, оказывающими токсическое действие на живые организмы или вызывающими ухудшение химических свойств объектов окружающей среды;

Физическое - антропогенное воздействие, вызывающее негативные изменения физических свойств окружающей среды (тепловых, световых, шумовых, электромагнитных и др.);

Радиационное - антропогенное воздействие ионизирующего излучения радиоактивных веществ, превышающее природный уровень радиоактивности;

Биологическое - отличается большим разнообразием и включает привнесение в экосистему чуждых ей живых организмов и биогенных веществ.

Загрязнители по агрегатному состоянию разделяют на:

□пыли;

□аэрозоли;

□туманы;

□дымы;

□газы;

□пары.

ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРОМЫШЛЕННЫМИ ВЫБРОСАМИ

Дисперсная фаза - совокупность мелких однородных твёрдых частиц, капелек жидкости или пузырьков газа, равномерно распределённых в окружающей (дисперсионной) среде.

Дисперсионная среда - материальная среда, в которой находится дисперсная фаза.

Дисперсная система - система, в которой одно вещество (дисперсная фаза) распределено в среде другого (дисперсионная среда), причем между частицами и дисперсионной средой есть граница раздела фаз.

Дисперсная фаза и дисперсионная среда образуют **дисперсные системы** (запыленные дымовые газы)

ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРОМЫШЛЕННЫМИ ВЫБРОСАМИ

Пыль – дисперсная система с газообразной дисперсионной средой (воздух, газы) и **твердой дисперсной фазой**, состоящей из частиц от квазимолекулярного до макроскопического размеров, обладающих свойством **находиться во взвешенном состоянии более или менее продолжительное время.**

Пыль технологического происхождения характеризуется большим разнообразием по химическому составу, размеру частиц, их форме, плотности и проч.

По происхождению различают пыль **неорганическую** (минеральная и металлическая), **органическую** (растительная, животная, искусственная) и **смешанную.**

Порошок - тонкоизмельченное твердое вещество (**твердая дисперсная фаза**), размеры частиц которого находятся в тех же пределах, что и размеры пылевых частиц.

ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРОМЫШЛЕННЫМИ ВЫБРОСАМИ

Аэрозоль – дисперсная система с газообразной дисперсионной средой и твердой или жидкой дисперсными фазами, частицы которых могут неопределенно долгое время находиться во взвешенном состоянии.

Различают дисперсионные и конденсационные аэрозоли.

Дисперсионные аэрозоли образуются при измельчении (диспергировании) твердых и жидких веществ.

Конденсационные аэрозоли образуются при конденсации насыщенных паров, а также в результате газовых реакций.

Дисперсионные частицы обычно значительно грубее, чем конденсационные, обладают большей полидисперсностью, имеют неправильную форму.

Конденсационные аэрозоли имеют как правило правильную шарообразную (**жидкость**) или кристаллическую (**твердое вещество**) форму и при коагуляции, сливаясь, снова получают шарообразную форму.

ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРОМЫШЛЕННЫМИ ВЫБРОСАМИ

Туманы - газообразная среда с жидкими частицами как конденсационными, так и дисперсионными, независимо от их дисперсности.

Туманы образуются вследствие термической конденсации паров или в результате химического взаимодействия веществ.

Дымы - конденсационные аэрозоли с твердой и/или жидкой дисперсной фазой (продукты сгорания органических топлив).

Газ – агрегатное состояние вещества, характеризующееся очень слабыми связями между составляющими его частицами (молекулами, атомами, ионами), а также их большой подвижностью.

Пар —газообразное состояние вещества в условиях, когда газовая фаза может находиться в равновесии с жидкой или твердой фазами того же вещества (пар-это газообразное состояние вещества в специальных условиях).

При повышении давления насыщенный пар частично превращается в жидкость, газ - нет.

ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРОМЫШЛЕННЫМИ ВЫБРОСАМИ

Черная металлургия: пыль (при коксовании углей), пыль производственная (содержит окислы железа, алюминия, марганца, кальция, мышьяка), сернистые газы, водяные пары.

Цветная металлургия: пыль (включая соединения тяжелых металлов), диоксид серы, фтористые соединения.

Нефтеперерабатывающая промышленность: углеводороды, диоксид серы, сероводород, оксид углерода, оксиды азота, пентаоксид ванадия, фтористые соединения, метилмеркаптан, газы и аэрозоли с неприятным запахом.

Химическая промышленность: *производства неорганической химии* – оксиды серы, азота, взвешенные частицы, аммиак, хлороводород, фтороводород; *производства органической химии* - углеводороды и оксиды углерода, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), сероводород, сероуглерод, хлористые и фтористые соединения, газы и аэрозоли с неприятным запахом.

Целлюлозно-бумажная промышленность: диоксид серы и пахучие вещества с неприятным запахом (метантион, диаметилсульфид, метилмеркаптан), диоксины.

Теплоэнергетика: окись углерода, оксиды азота и серы, твердые частицы (зола, сажа), ПАУ, пентаоксид ванадия

Мусоросжигательные заводы: окись углерода, оксиды азота, оксиды серы, твердые частицы (зола, сажа), углеводороды, диоксины, фураны, пентаоксид ванадия.

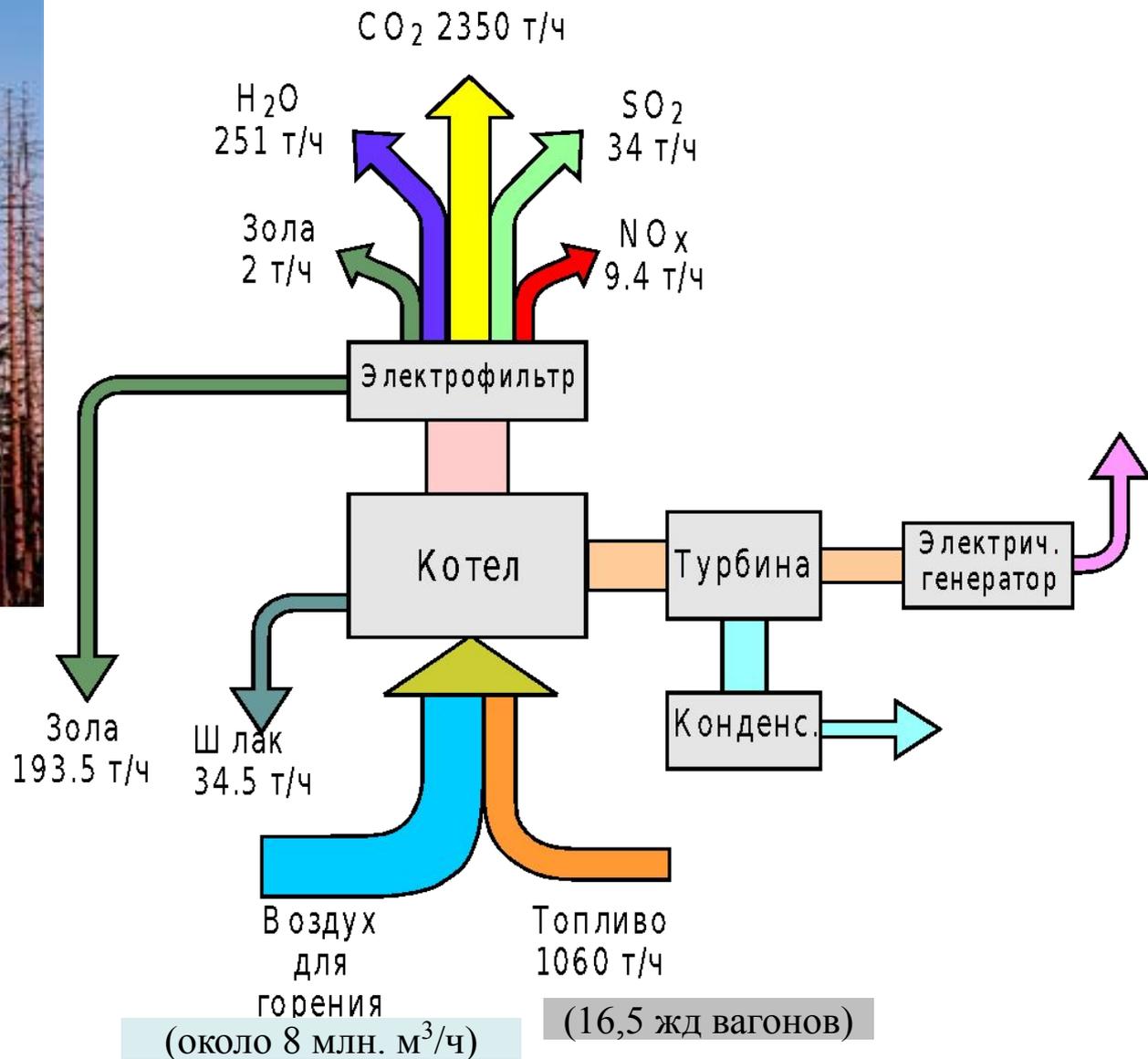
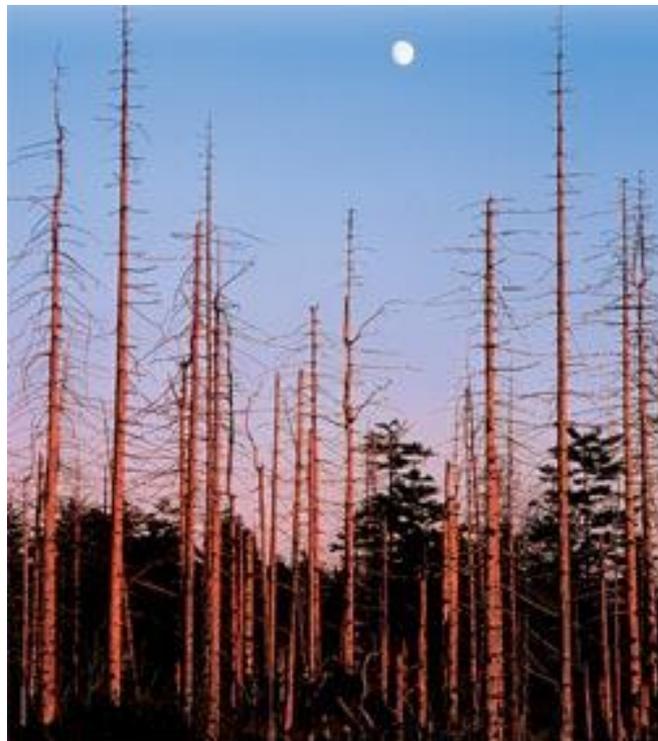
Производство цемента и строительных материалов: пыль.

Атомная промышленность: пыль и аэрозоли, содержащие радионуклиды.

Годовые выбросы ТЭС мощностью 1000 МВт

Выбросы	Вид топлив и его годовой расход, т/год		
	Природный газ $1.9 \cdot 10^9$ м ³ /год	Мазут ($S^p = 1.6\%$) $1.57 \cdot 10^6$ т/год	Уголь ($S^p=3.5\%$, $A^p=9\%$) $2.3 \cdot 10^6$ т/год
SO _x	12	52660	139000
NO _x	12080	21700	20880
CO	-	80	210
Твердые частицы	460 (сажа)	730	4430
H ₂ O	около $2 \cdot 10^6$	более $1.1 \cdot 10^6$	$(0.7 \div 0.8) \cdot 10^6$
CO ₂	более $3.8 \cdot 10^6$	более $4.8 \cdot 10^6$	$(6 \div 7) \cdot 10^6$
Шлак и зола из электрофилтра	-	-	более $2 \cdot 10^5$

Материальный баланс угольной ТЭС мощностью 2400 МВт



КЛАССЫ ОПАСНОСТИ (ТОКСИЧНОСТИ) ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

ГОСТ 12.1.007-76. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. СИСТЕМА СТАНДАРТОВ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА.

Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности

Класс опасности	Вещества
1. Чрезвычайно опасные:	Б(а)П, V_2O_5 , O_3 , диоксины, ртуть, фтороводород HF
2. Высоко опасные:	H_2S , формальдегид, фенол, цианиды, хлор, мышьяк, натрий, нитриты, летучая зола при содержании $CaO \geq 35\%$
3. Умеренно опасные:	NO , NO_2 , SO_2 , SO_3 , сажа, летучая зола при содержании $CaO < 35\%$, нитраты, фосфаты, пыль неорганическая
4. Малоопасные:	NH_3 , CO , CH_4 , сульфаты, хлориды

ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ ВРЕДНЫХ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

Вредные вещества	Класс опасности	ПДК _{м.р.} мг/м ³	ПДК _{с.с.} мг/м ³
Бенз(а)пирен C ₂₀ H ₁₂	1	-	10 ⁻⁶
Пентаоксид ванадия V ₂ O ₅	1	-	0,002
Летучая зола (при CaO ≥35%)	2	0,05	0,02
Диоксид азота NO ₂	3	0,2	0,04
Монооксид азота NO	3	0,6	0,06
Летучая зола (как нетоксичная пыль)	3	0,5	0,15
Сернистый ангидрид SO ₂	3	0,5	0,05
Серный ангидрид SO ₃	3	0,3	0,1
Сажа	3	0,15	0,05
Оксид углерода CO	4	5	3

Нормативы предельно допустимых концентраций некоторых распространённых вредных веществ в воздухе (в соответствии с ГН 2.1.6.1338-03 и ГН 2.2.5.1314-03)

Вещество	ПДК _{сс} , мг/м ³	ПДК _{мп} , мг/м ³	ПДК _{рз} , мг/м ³
Монооксид углерода	3	5	20*
Взвешенные вещества**	0,5	15	—
Диоксид серы	0,05	0,5	10
Диоксид азота	0,04	0,2***	2
Озон	0,03	0,16	0,1
Формальдегид	0,003	0,035	0,5
Бенз(а)пирен	0,000001 (0,1 нг/м ³)	—	0,00015

* При кратковременной деятельности в атмосфере, содержащей монооксид углерода, предельно допустимая концентрация может быть повышена: 1 час – до 50 мг/м³, 30 минут – до 100 мг/м³, 15 минут – до 200 мг/м³. Повторные работы могут проводиться не ранее чем через 2 часа.

** Эти нормативы установлены для взвешенных веществ, относящихся к недифференцированной по составу пыли (аэрозолю), содержащейся в воздухе населенных пунктов; они не распространяются на аэрозоли органических и неорганических соединений (металлов, их солей, пластмасс, биологических, лекарственных препаратов и др.), для которых установлены соответствующие ПДК^{сс} и ПДК^{мп}. Отметим, что эти нормативы на порядок менее жесткие, чем нормативы, установленные для мелкодисперсных взвешенных частиц в странах-членах ЕС.

*** Норматив ПДК^{мп} для диоксида азота установлен на уровне 0,2 мг/м³ в 2006 г.; до этого времени действовал норматив ПДК^{мп} = 0,085 мг/м³.

Распоряжение Правительства РФ от 08.07.2015 № 1316-р

П Е Р Е Ч Е Н Ь

загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды (принято в соответствии с Федеральным законом от 21.07.2014 № 219-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации»)

Для атмосферного воздуха - всего 254 загрязняющих веществ:

- 55 вредных веществ
- 105 веществ группы летучих органических соединений (ЛОС)
- 94 радиоактивных изотопа

Для ТЭС требования о непрерывном инструментальном контроле выбросов загрязняющих веществ в атмосферу распространяются на следующие контролируемые (**маркерные**) вещества:

- твердые частицы,
- оксид углерода CO,
- оксиды азота NO_x,
- диоксид серы SO₂.

ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВЫБОР МЕТОДОВ И АППАРАТОВ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВ

Выбор методов и аппаратов очистки зависит от:

- концентрации извлекаемого компонента в отходящих газах;**
- дисперсного состава;**
- объема газа;**
- температуры газа;**
- наличия в газе других примесей;**
- требуемой степени очистки;**
- возможности повторного использования продуктов рекуперации в рабочем цикле.**

СВОЙСТВА ПЫЛИ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

- 1. Массовая концентрация твердых частиц в газах перед ПУ, приведенная к нормальным условиям (0°C, 101,3 кПа = 760 мм рт. ст.), C_i , г/м³ (мг/м³)**

ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

2. **Плотность частиц ρ , г/см³** – масса единицы объема частиц без учета внутренних пор (**истинная плотность**)

Истинная плотность частицы - отношение массы гладкой монолитной частицы к занимаемому ею объему.

ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

3. Насыпная плотность ρ_n , г/м³ – масса свободно насыпанной в какую-либо емкость уловленной пыли к ее объему (включая объем пор и трещин внутри частиц, а также объем воздушных зазоров между частицами **свеженасыпанной пыли**)

Насыпной плотностью пользуются для определения объема, который занимает пыль в бункерах в первое время до начала ее слеживания.

Насыпная плотность **слежавшейся пыли** обычно в 1,2–1,5 раза больше, чем у **свеженасыпанной**.

На величину насыпной плотности пыли существенное влияние оказывают различные физико-химические процессы (вибрация, коагуляция, спекание, смачивание, окисление и т.д.).

ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

4. Дисперсный (гранулометрический) состав пыли (ДСП)

- это характеристика **состава дисперсной фазы**, показывающая, какую долю по массе, объему или числу частиц составляют частицы в любом диапазоне размеров или скоростей оседания.

Дисперсность характеризует степень измельчения вещества.

Распределение пыли по дисперсности:

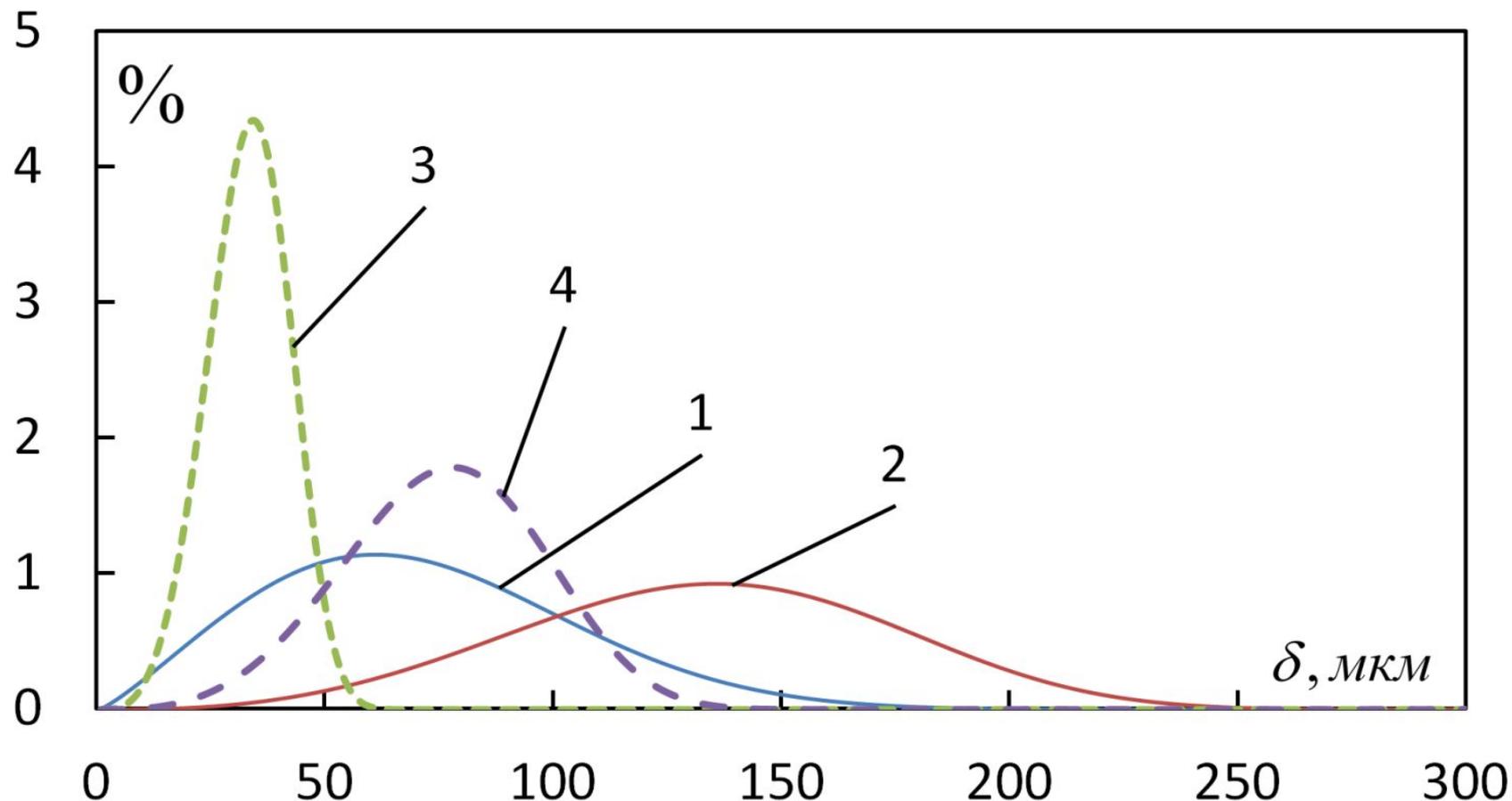
- **Грубая пыль – пыль с размером более 100 мкм**
- **Средняя пыль - пыль с размером более 10 мкм**
- **Тонкая пыль - пыль с размером менее 10 мкм**

ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ ПЫЛИ

Размер частиц на границах фракций, мкм	<1,5	1,5-2,5	2,5-5	5-7,5	7,5-10	10-15	15-25	25-35	35-50	>50
Фракции, % от общей массы частиц	2,19	3,73	7,89	13,16	15,45	21,13	18,63	6,06	5,1	6,66

Тип топки	Размер золовых частиц, мкм						
	0 ÷ 10	11 ÷ 20	21 ÷ 30	31 ÷ 40	41 ÷ 74	75 ÷ 149	≥ 150
Открытая с ТШУ	25%	24%	16%	14%	13%	6%	2%
Циклонная с ЖШУ	72%	15%	6%	2%	-	5%	-

ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ ПЫЛИ



Распределение частиц пыли для 300 фракций диаметром от 1 до 300 мкм
в зависимости от режимов сжигания:

1 – уголь №1, нагрузка 100%; 2 – уголь №1, нагрузка 40%; 3 – уголь №2, нагрузка 100%; 4 – уголь №2, нагрузка 40%.

ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

5. Остаток на сите R_i – доля массы порошкообразного материала, оставшегося на сите с i -тым размером ячеек, от общей массы просеиваемого материала, %

$$R_{200} = 5\%$$

$$R_{90} = 10\%$$

СЛИПАЕМОСТЬ ПЫЛИ (ДЛЯ ИНЕРЦИОННЫХ И МОКРЫХ ПУ)

6. Слипaeмoсть (аутогезия) - склонность частиц к сцеплению друг с другом, обусловленная силами электрического, молекулярного и капиллярного происхождения.

В качестве показателя слипаемости принимают прочность пылевого слоя на разрыв, P , Па.

По слипаемости пыль делится на 4 группы:

- неслипающаяся (I) – $P < 60$ Па ;
- слабослипающаяся (II) – $P =$ от 60 до 300 Па;
- среднеслипающаяся (III) – $P =$ свыше 300 до 600 Па;
- сильнослипающаяся (IV) – $P > 600$ Па.

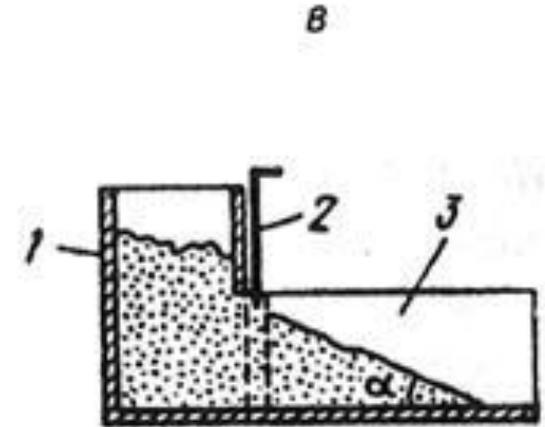
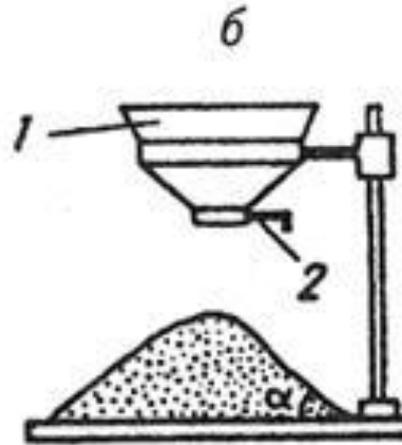
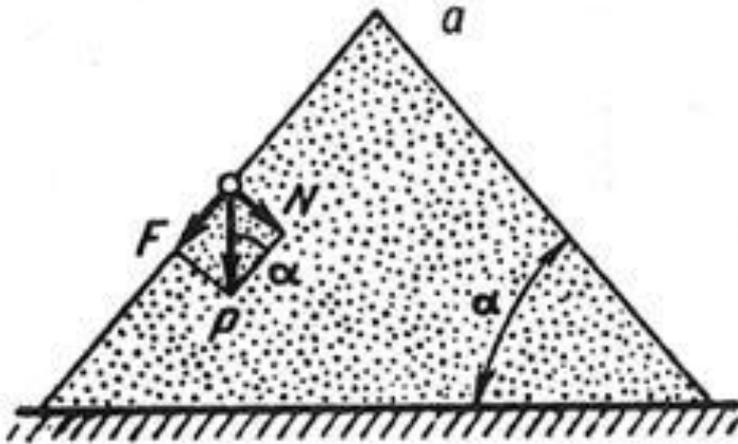
Пыль с высокой слипаемостью забивает циклоны и мокрые ЗУ, плохо удаляется из золовых бункеров.

ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

7. Сыпучесть пыли - характеризует подвижность частиц пыли относительно друг друга и их способность перемещаться под действием внешней силы.

Характеристики сыпучести используются при определении угла наклона стенок бункеров, течек и других устройств, связанных с накоплением и перемещением пыли и пылевидных материалов.

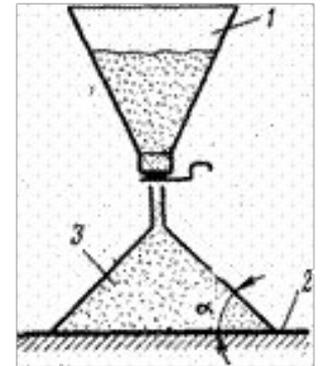
ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ



Сыпучесть пыли оценивается по **углу естественного откоса**, который принимает пыль в свеженасыпанном состоянии (а).

Различают **динамический** (б) и **статический** (в) и **угол естественного откоса**.

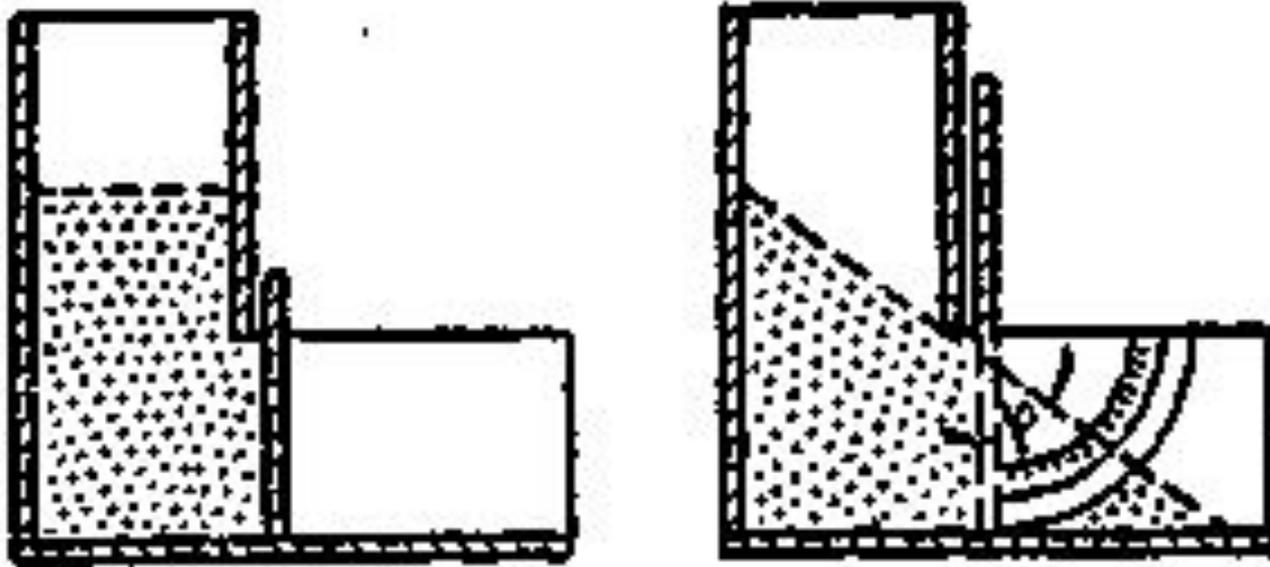
ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ



[Sandpile Matematica 22.webm](#)

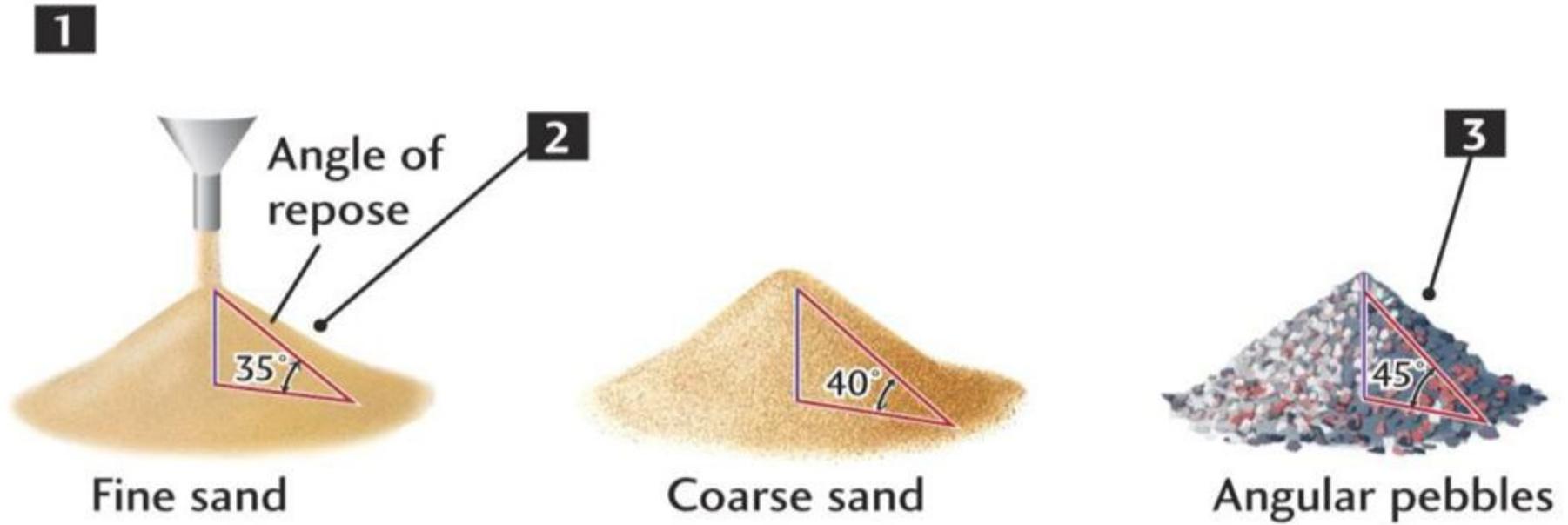
Динамический угол естественного откоса относится к случаю, когда происходит падение частиц на плоскость.

ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ



Под статическим углом естественного откоса (его называют также углом обрушения) понимают угол, который образуется при обрушении слоя в результате удаления подпорной стенки. **Статический угол естественного откоса всегда больше динамического угла естественного откоса.**

ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ



Сыпучесть зависит от размера частиц, их влажности и степени уплотнения.

Характеристики сыпучести используются при определении угла наклона стенок бункеров, течек и других устройств, связанных с накоплением и перемещением пыли и пылевидных материалов.

ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

8. Смачиваемость водой определяет возможность ее гидроудаления и оказывает влияние на эффективность мокрых пылеуловителей.

Смачиваемость пыли определяется методом пленочной флотации: в сосуд с дистиллированной водой высыпают навеску пыли и определяют количество осевшей (затонувшей) пыли.

О смачиваемости пыли судят по доле затонувших частиц:

- **плохо смачиваемая (доля затонувших частиц - менее 30%),**
- **умеренно смачиваемая (доля затонувших частиц – 30 - 80%),**
- **хорошо смачиваемая (доля затонувших частиц - свыше 80%).**

ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

9. Гигроскопичность – способность пыли поглощать и удерживать влагу (водяные пары) **из воздуха** (влияет на слипаемость, электропроводность, сыпучесть).

Гигроскопичность зависит от химического состава, размера, формы и степени шероховатости поверхности частиц.

Гигроскопичность способствует улавливанию частиц в аппаратах мокрого типа.

Влагосодержание – отношение количества влаги в пыли к количеству **абсолютно сухой пыли**.

Влажность – отношение количества влаги в пыли ко всему количеству **влажной пыли**.

АБРАЗИВНОСТЬ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ

10. Абразивность – способность пыли вызывать изнашивание узлов и элементов, с которыми соприкасается пылегазовый поток.

Абразивность зависит от твердости, формы, размера и плотности частиц.

Абразивность учитывается при выборе:

- скорости запыленного потока,
- толщины стенок газоходов и аппарата,
- облицовочных материалов.

АБРАЗИВНОСТЬ ПЫЛИ

Абразивность частиц количественно характеризуется коэффициентом абразивности a - утонение стенки (в метрах) поперечно обтекаемой трубы из стали 20 в местах ее максимального износа при ее обтекании в течение 1 часа при комнатной температуре потоком с концентрацией частиц 1 г/м^3 и скоростью потока 1 м/с при равномерном поле скоростей и концентраций.

АБРАЗИВНОСТЬ ЗОЛЫ РАЗЛИЧНЫХ УГЛЕЙ

Уголь	Коэффициент абразивности a , м
Донецкий	$5,4 \cdot 10^{-9}$
Подмосковный	$5,4 \cdot 10^{-9}$
Экибастузский	$8,8 \cdot 10^{-9}$
Куучекинский	$6,9 \cdot 10^{-9}$
Черемховский	$1,83 \cdot 10^{-9}$
Богословский	$2,2 \cdot 10^{-9}$

ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

11. Удельное электрическое сопротивление пыли (УЭС)

(Единица измерения удельного сопротивления в СИ (Ом·м). Физический смысл удельного сопротивления: сопротивление однородного куска проводника длиной 1 м и площадью токоведущего сечения 1 м², т.е. через куб со стороной 1 м)

- **низкоомная ($\rho < 10^2$ Ом·м);**
- **среднеомная ($10^2 < \rho < 10^8$ Ом·м);**
- **высоомная ($\rho > 10^8$ Ом·м).**

ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

12. Электрический заряд пыли: положительный, отрицательный, нейтральный

Обычно неметаллические частицы заряжаются положительно, а металлические – отрицательно.

Вещества с положительным зарядом: апатит, крахмал, мрамор, песок, уголь, сера, соли NaCl , CaCl_2

Вещества с отрицательным зарядом: кальций, кварцевый песок, мука, оксид железа, оксид цинка, цинк, CaCO_3 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; MgCO_3

ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

13. Коагуляция – процесс укрупнения взвешенных частиц в результате взаимодействия частиц под воздействием различных физических факторов:

- тепловая,
- градиентная,
- турбулентная,
- кинематическая,
- электрическая,
- акустическая.

ПОКАЗАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

14. Горючесть и взрываемость пыли – способность образовывать с воздухом взрывоопасную смесь и способность к воспламенению.

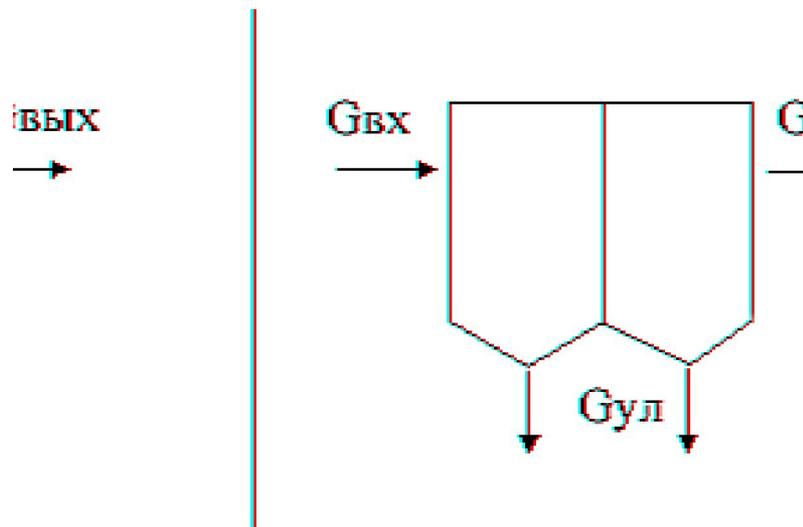
Пыль, находящаяся во взвешенном состоянии в воздухе помещений, **взрывоопасна**, осевшая пыль - **пожароопасна**.

- **I класс** – наиболее взрывоопасные пыли с НКПРП до 15 г/м³,
- **II класс** – взрывоопасные пыли с НКПРП от 16 до 65 г/м³,
- **III класс** – наиболее пожароопасные пыли с температурой самовоспламенения в потоке воздуха до 250°С,
- **IV класс** – пожароопасные пыли с температурой самовоспламенения выше 250°С.

НКПРП – нижний концентрационный предел распространения пламени

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ
ЭФФЕКТИВНОСТИ
РАБОТЫ АППАРАТОВ
ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗА**

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ГАЗОВ



1. Степень очистки газов (КПД); %

$$\eta_{3y} = \frac{G_{УЛ}}{(G_{УЛ} + G_{ВЫХ})} \times 100\% = \frac{G_{ВХ} - G_{ВЫХ}}{G_{ВХ}} \times 100\% = \frac{G_{УЛ}}{G_{ВХ}} \times 100\%$$

где $G_{ВХ}$ – массовый расход частиц на входе; г/с

$G_{ВЫХ}$ – массовый расход частиц на выходе; г/с

$$G_{УЛ} = G_{ВХ} - G_{ВЫХ}$$

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

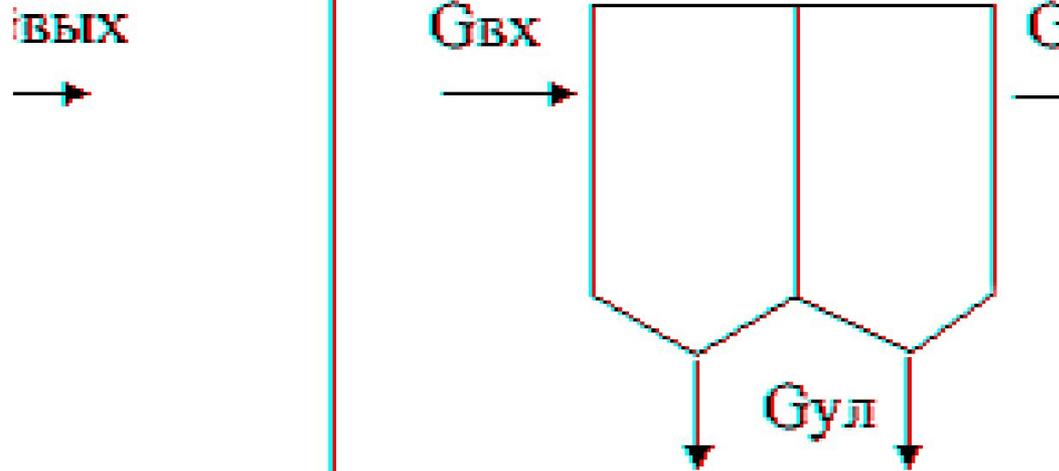
G_i – массовый расход частиц ($i = \text{вх/вых}$, соответственно на входе в аппарат и на выходе из него, т.е. в очищенном газе), г/с

$$G_i = C_i \cdot V_2$$

где C_i – концентрация пыли в газе (величина запыленности) при нормальных условиях (0°C , $101,3 \text{ кПа} = 760 \text{ мм рт. ст.}$), г/м³;

V_2 – объемный расход газа, поступившего на очистку при нормальных условиях (0°C , $101,3 \text{ кПа} = 760 \text{ мм рт. ст.}$), м³/с

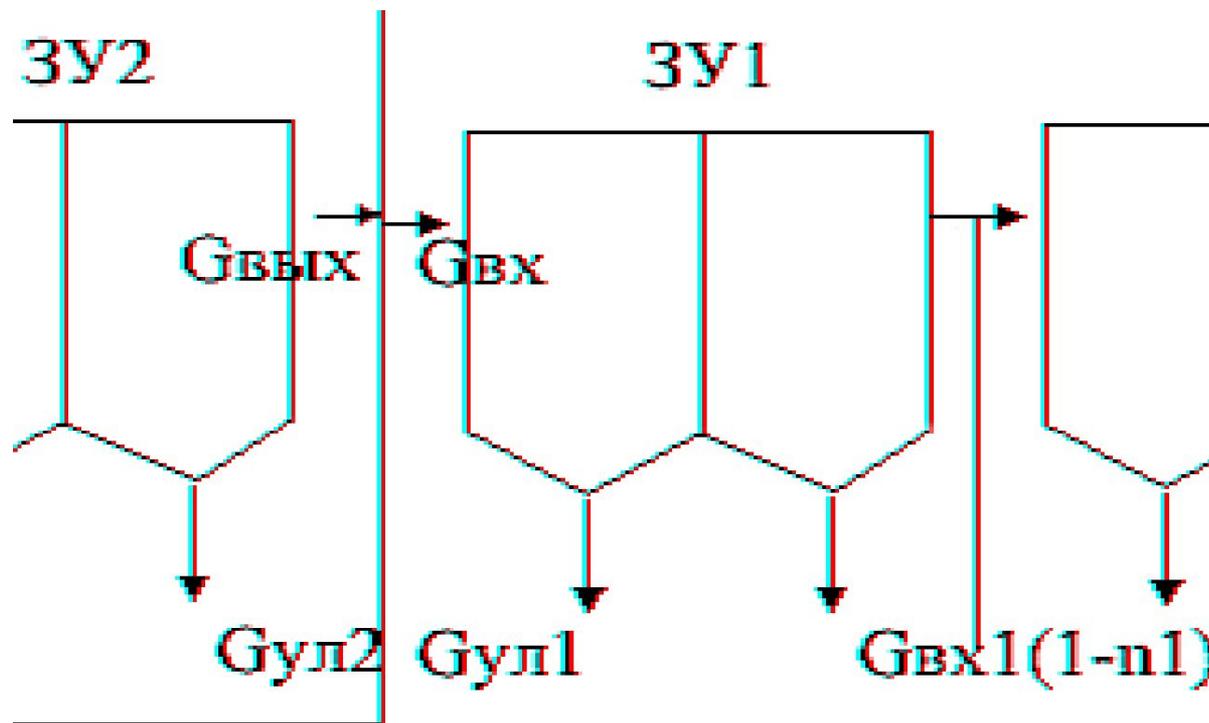
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ГАЗОВ



2. Проскок (унос) пыли через аппарат; %

$$\varepsilon = (G_{\text{ВЫХ}} / G_{\text{ВХ}}) \cdot 100\% = 100 - \eta_{\text{зу}}, \%$$

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ



КПД двухступенчатого аппарата; %

$$\eta_{\Sigma} = \eta_I + \eta_{II} \cdot (1 - \eta_I/100);$$

Суммарную степень очистки газа в системе, состоящей из двух и более аппаратов,

$$\eta_{\Sigma} = 100 \cdot [1 - (1 - \eta_1/100)(1 - \eta_2/100)\dots(1 - \eta_n/100)], \%$$

где $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ – степени очистки газа в отдельных аппаратах, %

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

Очищаемый газ содержит в основном полидисперсную пыль. Эффективность пылезadržания одного и того же аппарата при прочих равных условиях зависит от **дисперсности пыли**. Чем крупнее частицы пыли и больше их плотность, тем лучше они осаждаются в аппаратах газоочистки.

Для оценки степени очистки в пылеуловителе пылей разных фракций используется **коэффициент фракционной эффективности $\eta_{\phi i}$** - отношение массового расхода пыли данной (i -ой) фракции, уловленной в аппарате, $G_{ул\phi i}$ к массовому расходу пыли этой же фракции, содержащейся в газе на входе в аппарат $G_{вх\phi i}$:

$$\eta_{\phi i} = (G_{ул\phi i} / G_{вх\phi i}) 100\%.$$

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

Коэффициенты фракционной эффективности аппаратов различных типов определяют экспериментально для пылей разных фракций.

Коэффициенты фракционной эффективности η_{fi} для аппаратов разных типов приведены в каталогах газоочистного оборудования, паспортах аппаратов и справочной литературе.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

Полную степень очистки газа от пыли можно рассчитать по ее фракционному составу на входе в аппарат и по коэффициентам фракционной эффективности аппарата:

$$\begin{aligned}\eta &= [\Sigma(G_{ВХ\phi i} \cdot \eta_{\phi i}) / \Sigma(G_{ВХ\phi i})] = \\ &= [\Sigma(G_{ВХ\phi i} \cdot \eta_{\phi i}) / G_{ВХ}] = \\ &= \Sigma(\Phi i \cdot \eta_{\phi i}) ; \%\end{aligned}$$

где $i = 1-n$ – количество фракций пыли;

$G_{ВХ\phi i}$ – массовый расход частиц i -ой фракции на входе в аппарат;

$\eta_{\phi i}$ – коэффициенты фракционной очистки данного аппарата для пыли i -ой фракции.

$G_{ВХ} = \Sigma(G_{ВХ\phi i})$ - общий массовый расход пыли, которая содержится в газе, поступающем в аппарат на очистку.

$\Phi i = G_{ВХ\phi i} / G_{ВХ}$ - доля каждой фракции в общей массе пыли

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

Остаточная концентрация пыли в очищенном газе, выбрасываемом в атмосферу через дымовую трубу, **не должна уменьшать прозрачность атмосферы, поглощать световые лучи и задерживать ультрафиолетовую солнечную радиацию.**

Поэтому газ не должен быть окрашен в коричневый или черный цвет и содержать различные примеси более установленных нормативов.

**КЛАССИФИКАЦИЯ
МЕТОДОВ
ОЧИСТКИ ГАЗА**

ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВ

Очистка газов осложняется из-за:

- больших количеств дымовых газов (сотни тысяч м³/ч и более);
- малых концентраций вредных примесей (мг/м³ и г/м³);
- присутствия большого количества веществ в дымовых газах (Н₂О, СО, СО₂, ПАУ, тв. частицы и др.)

ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВ

Обезвреживание выбросов производится:

- удалением вредных примесей из газа;
- восстановлением в безвредные вещества;
- химическим превращением в другие вещества и их удалением из газа.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВ



**МЕТОДЫ
ПЫЛЕОЧИСТКИ
ПРОМЫШЛЕННЫХ
ГАЗОВ**

КЛАССИФИКАЦИЯ АППАРАТОВ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

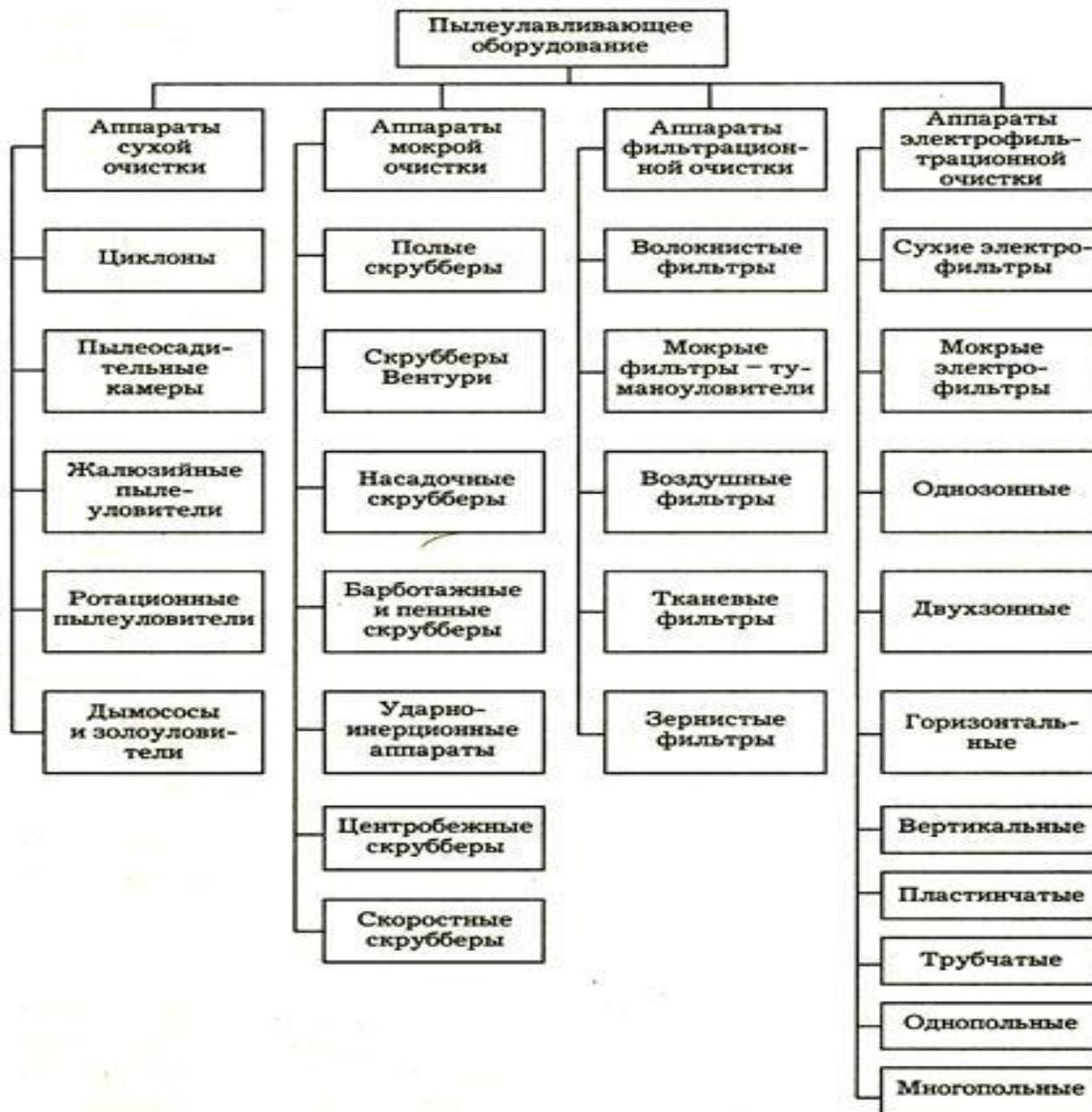
Для улавливания из газа пыли или отдельных газообразных компонентов в зависимости от их свойств и свойств очищаемого газа используют разные по конструкции и принципу действия аппараты.

Все методы очистки могут быть разделены на четыре основные группы:

- 1. Механическая или сухая очистка**, при которой осаждение частиц пыли происходит под действием механической силы: силы тяжести, инерции или центробежной силы.
- 2. Мокрая очистка** путем пропускания газа через слой жидкости или орошения его жидкостью.
- 3. Фильтрование газов через пористые материалы**, не пропускающие частицы, взвешенных в газе.
- 4. Электрическая очистка** газов путем осаждения взвешенных в газе частиц в электрическом поле высокого напряжения.

Аппараты газоочистки чаще всего классифицируют по принципу действия и области применения.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ



КЛАССИФИКАЦИЯ АППАРАТОВ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

По области применения аппараты газоочистки можно подразделить на две группы:

- 1. Пылеуловители грубой очистки газа - устройства, обеспечивающие задержание пыли с размером частиц более 10 мкм (все инерционные пылеуловители и некоторые пористые фильтры).**
- 2. Аппараты тонкой очистки газа – устройства, в которых задерживаются частицы размером менее 10 мкм (большинство пористых фильтров, электрофильтры и скоростные пылеуловители с трубами Вентури).**

КЛАССИФИКАЦИЯ АППАРАТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОВ ОТ ПЫЛИ

Аппараты	Размер частиц, мкм
Пылеосадительные камеры	от 50 до 1000
Циклоны диаметром от 1 до 2 м	от 20 до 1000
Циклоны диаметром 1 м	от 5 до 1000
Скрубберы	от 20 до 100
Тканевые фильтры	от 0,9 до 100
Волокнистые фильтры	от 0,05 до 100
Электрофильтры	от 0,01 до 10

