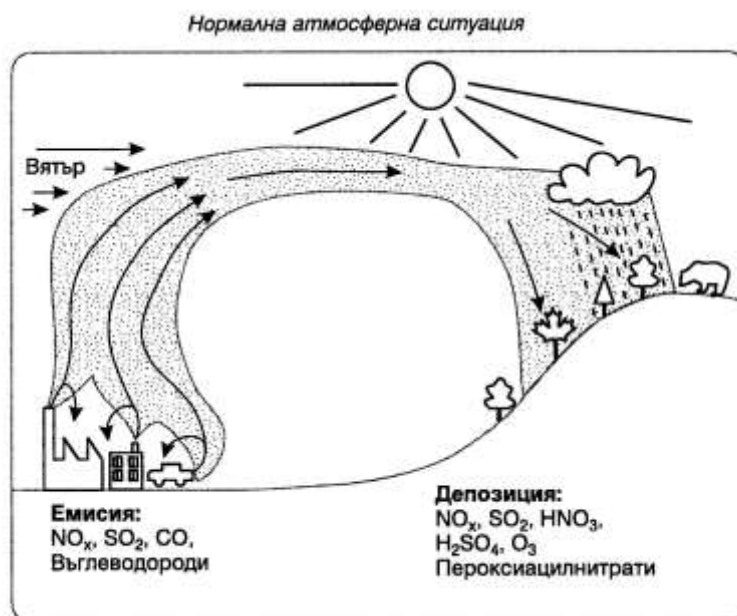


проф. Иван Антонов



МЕТОДИ ЗА ОЧИСТВАНЕ НА ВЪЗДУХА

/записки лекции - 2017/

1. ВЪВЕДЕНИЕ В МЕТОДИТЕ ЗА ОЧИСТВАНЕ НА ВЪЗДУХА.**СЪСТАВ НА АТМОСФЕРАТА. ГРАНИЦИ И СТРУКТУРА НА АТМОСФЕРАТА. ТЕМПЕРАТУРНИ ИНВЕРСИИ.**

Въздухът представлява механична газова смес. Цялата атмосфера е с дебелина около 1000-2000-3000 км.

Благодарение на турбулентния обмен съставът на атмосферата е почти постоянен.

Нормален състав на атмосферата:

Азот- 78,09 об. %, 75,5 мас. %. Мол. м – 28,01, $\rho = 1,25 \text{ kg/ m}^3$,

$T_{\text{топ}} = -210^\circ\text{C}$, $T_{\text{кип}} = -195,8^\circ\text{C}$;

Кислород - 20,95 об.%, 23,15 мас. %

Аргон- 0,93 об.%, 1,3 мас.%, Мол. м – 39,95, $\rho = 1,78$;

CO₂; неон; *He*; *NO₂*; *H*; *криптон*, *ксенон*, *радон*.

Метан – 0,00022 об.%, 0,00012 мас.%, Мол. м=16,04, $\rho = 0,72$;

Озон – 0,000001 об.%, 0,0000017 мас.% Мол. м=48, $\rho = 2,14$;

Физически свойства на въздуха

Плътност

Налягане

Температура

Тропосфера -12-18 км – 80% от масата на въздуха вертикален температурен градиент - намаля

Стратосфера – до 50 км – 15% - озон – температурата се покачва

Мезосфера – до 90 км – 5% температурата – до – 120

Термосфера- йоносфера –йонизирани частици –

Екзосфера –магнитосфера – над 1000 км – йони от кислород, хелий, водород, постъпва космически прах.

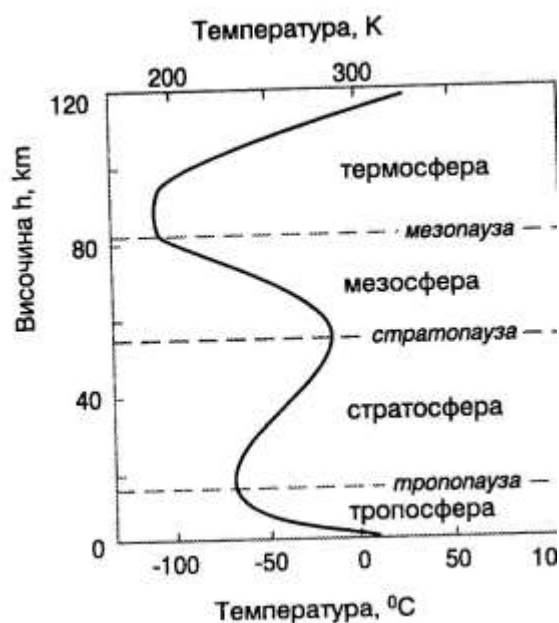
Емитер

Емисии

Таблица 2.2.

Състав на сух въздух

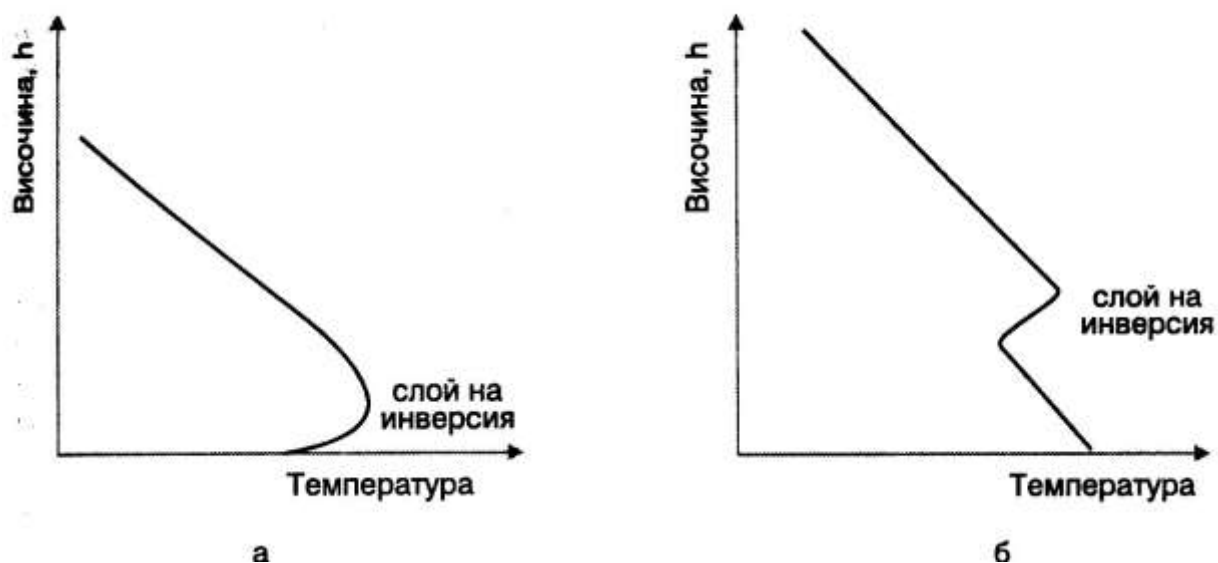
Компоненти-постоянни	Формула	Съдържание % тегл.	Съдържание % об.	Компоненти-променливи	Формула	Съдържание % тегл.	Съдържание % об.
азот	N_2	75,52	78,09	азотен оксид	NO	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
кислород	O_2	23,15	20,94	водород	H_2	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$
аргон	Ar	1,28	0,93	метан	CH_4	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
въглероден диоксид	CO_2	0,046	0,033	азотен диоксид	NO_2	$8 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-7}$
неон	Ne	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	озон	O_3	$10^{-6} - 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$
хелий	He	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	серен диоксид	SO_2	–	$2 \cdot 10^{-8}$
криптон	Kr	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	въглероден оксид	CO	–	$1 \cdot 10^{-5}$
ксенон	Xe	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-6}$	амоняк	NH_3	–	$1 \cdot 10^{-6}$



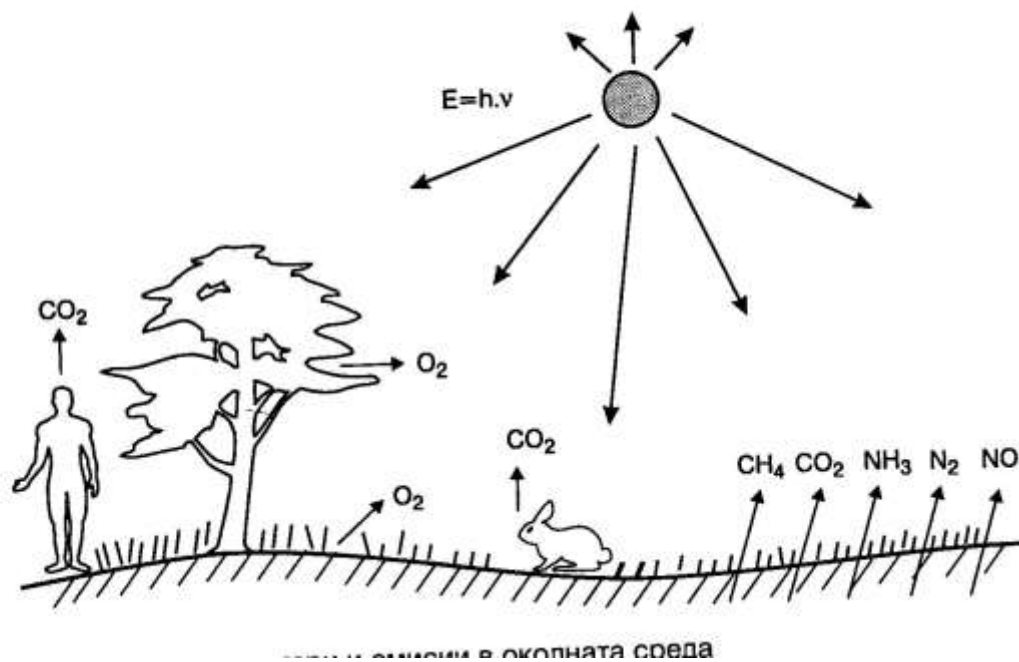
Фиг.1.Т- линийно понижаване близо до земята

Може да има изотермия

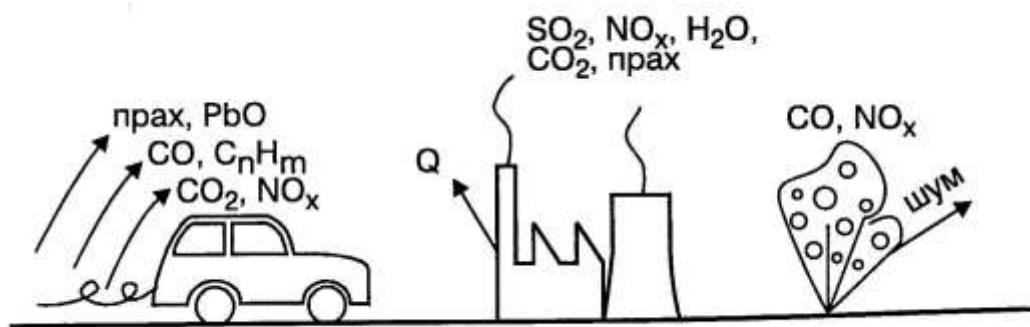
Температурният градиент има положителни стойности – инверсия– около големите градове.



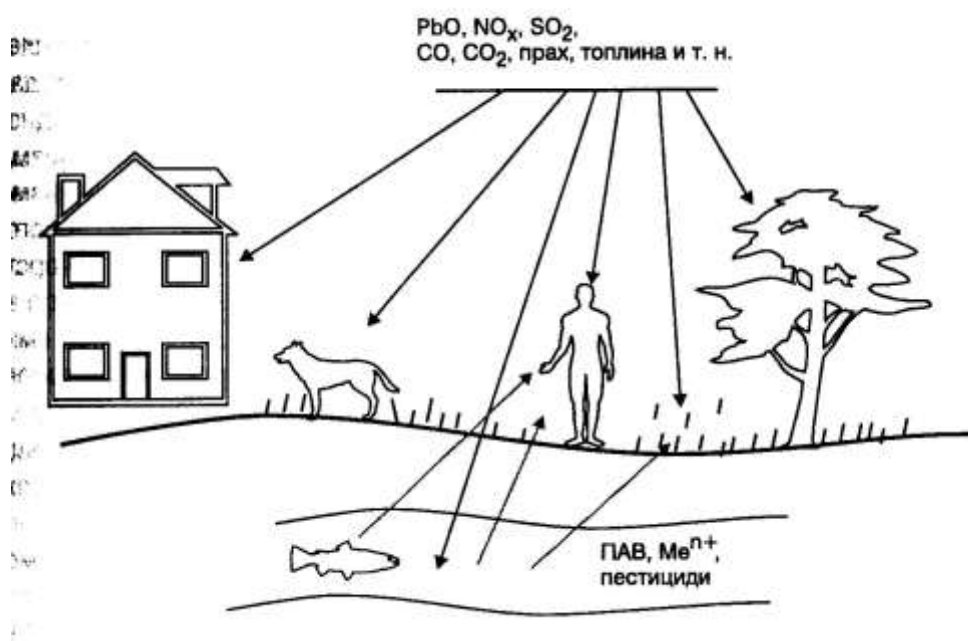
Фиг.2. изменение на температурата в близост до земята



Фиг.3. Схеми на емитери и емисии в околната среда



Фиг. 4. Техногенни емисии в околната среда



Фиг. 5. Емисии от екосистемата

Под атмосферен замърсител се разбира присъствието във въздуха на

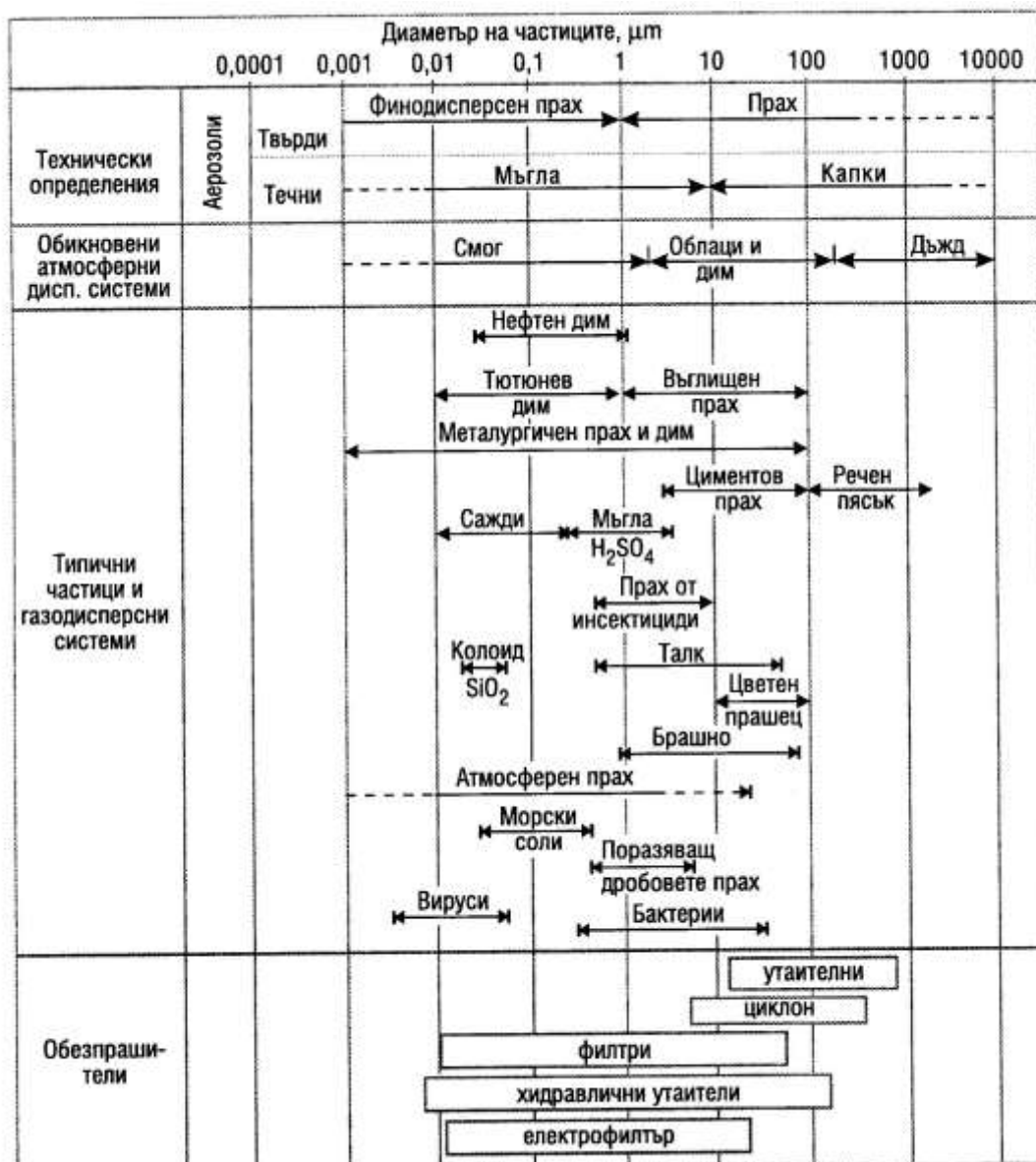
- ✓ газове,
- ✓ пари,
- ✓ частици, твърди и течни вещества,
- ✓ топлина,
- ✓ колебания,
- ✓ излъчване,

които неблагоприятно влияят на растенията, животните, човека, климата, материалите, зданията и съоръженията.

Ежегодно в атмосферата се изхвърлят над 150 мил. тона различни аерозоли, около 1 куб. км. прахообразни частици с изкуствен произход.

Под аерозоли се разбира прах, мъгла и дим:

1. Прах – дисперсни аерозоли с твърди частици, независимо от дисперсността.
2. Мъгла – газообразна среда с течностни частици, както кондензационни, така и дисперсни, независимо от дисперсността.
3. Дим – кондензационни аерозоли с твърда дисперсна фаза или включени твърди или течни частици.



Фиг. 6. Данни за частиците замърсители

1. Основни замърсители

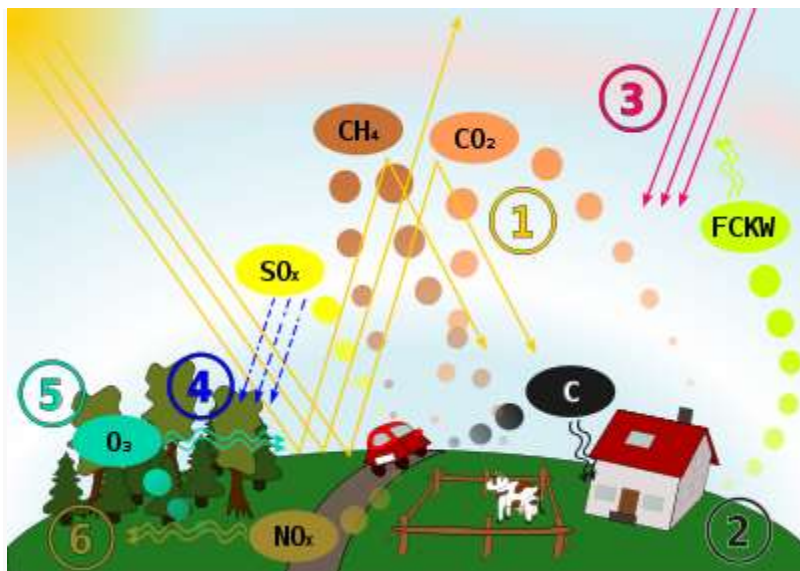
Веществата, които са най-чести замърсители на въздуха са:

- **Въглероден диоксид** е газ без цвят и мирис. Въглеродният диоксид се разтваря по-добре във водата в сравнение с въглеродния оксид.
- **Въглероден оксид** с формула CO е безцветен газ без мирис, но много отровен. Получава се при непълното изгаряне на въглища, природен газ и дървесни материали. Автомобилите също произвеждат въглероден оксид.

- Въглеводороди
- Алдехиди
- Радиоактивни вещества и тежки метали
- Серен диоксид - Серният диоксид е безцветен газ с формула SO_2 , който е продукт от вулканични изригвания и различни индустриални процеси. Обикновено горенето на въглища и петрол създава серен диоксид. По-нататъшно обогатяване с кислород и реакции с вода водят до получаването на H_2SO_4 и киселинни дъждове.
- Азотни оксиди, особено азотният диоксид с формула NO_2 е отровен газ със остра задушлива миризма и кафяво-червен цвят. Разтваря се добре във вода.

В България основните замърсители в зависимост от района са прах, серен двуокис, азотни окиси, оловни аерозоли, амоняк, фенол, сероводород и други. Тъй като в столицата София е съсредоточена голяма част от промишлеността, както и 17% от населението, замърсеността на въздуха е твърде висока. Пловдив също.

Основни източници на замърсяване на въздуха.



Фиг. 7. Основните източници на замърсяване на въздуха

1.1.Естествени източници

- Изригване на вулкани
- Пясъчни бури
- Урагани
- Горски пожари
- Продукти от растителен или животински произход

1.2. Антропогенни източници

Едни от замърсителите вследствие на човешката дейност са:

- Електрически централи, заводи, **фабрики и други промишлени предприятия**
- Моторни превозни средства - автомобили, самолети, плавателни съдове
- Горене на дървесни маси за отопление
- Петролни рафинерии
- Органични отпадъци, които освобождават [метан](#)
- Химични, биологични и ядрени оръжия

1.3. Качество на атмосферния въздух

В системата за контрол качеството на въздуха се контролират основните показатели, характеризиращи качеството на атмосферния въздух, съгласно Закона за чистотата на атмосферния въздух: общ суспендиран прах, фини прахови частици⁽¹⁾ /ФПЧ₁₀ и ФПЧ_{2.5}/, серен диоксид, азотен диоксид, въглероден оксид, озон⁽²⁾, бензен, кадмий, оловни аерозоли. Допълнително се контролират и специфични замърсители: сероводород, фенол, амоняк, хлор, хлороводород, толуол, ксилол и стирол.

1. Сероводород - Пределно допустимите концентрации за сероводород в атмосферния въздух (5 µg/m³ ПДК м.е. и 3 µg/m³ ПДК ср.дн.) се обосновават на сензорния ефект или предизвиквания обонятелен дискомфорт, който е възможен при концентрации над 7µg/m³. Регистрираните в България концентрации са далеч по-ниски от препоръчаната от Световната здравна организация по токсичен ефект

стойност от $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ за 24 - часова експозиция, над която е възможно да бъдат провокирани здравни ефекти върху хората. Най-ниската концентрация, за която е доказано вредно въздействие (дразнене на лигавицата на очите) е $15\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ за 24 - часова експозиция.

2.Фенол - Пределно допустимите концентрации ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ПДКм.е. и $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ПДКс.д.) за фенол в атмосферния въздух се обосновават на сензорния ефект или предизвикания обонятелен дискомфорт. Според СЗО, няма данни за възможни вредни ефекти върху човешкото здраве и околната среда при превишаване на посочените по-горе пределно допустими концентрации

1.4. Влияние върху околната среда



фиг.8.Замърсяване от дизелов двигател. Емисиите от моторните превозни средства са сред най-големите фактори за замърсяване на въздуха

Въглеродният оксид е отровен и вдишан в големи количества може да предизвика задушаване или смърт. Серният оксид и азотния оксид също са отровни газове Въглеродният диоксид в по-големи дози затруднява дишането на

животните и човека. Натрупването на този газ в атмосферата води и до общо затопляне на планетата (парников ефект).

В селищата с интензивно движение на автомобили и на други места, където се изгарят горива, въздухът съдържа големи количества въглероден диоксид, въглероден оксид и други газовалежни замърсители, които представляват заплаха за здравето на хората.

Въздух, замърсен с азотен оксид и серен оксид, се разтваря добре в малките водни капчици, образуващи облаците, от което следват киселинни дъждове, които поразяват растенията, разяждат металите, разрушават скалите, сградите, паметниците на културата. Когато такива дъждове паднат над реки и езера, загиват част от животните в тях.

2.Нормативна уредба, касаеща чистотата на атмосферния въздух

2.1. ЗАКОН ЗА ЧИСТОТАТА НА АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ /Обн.ДВ бр.45 от 28.05.1996 г., в сила от 29.06.1996 г.,попр., бр.49 от 7.06.1996 г., изм. бр.85 от 26.09.1997 г., изм. и доп., бр.27 от 31.03.2000 г.кн.4 /2000 г., стр.225 т.5, р.4, № 710/ изм. ДВ. бр. 6 от 23.01.2009г. [14]

Целта на закона е да се защити здравето на хората и на тяхното потомство, животните и растенията, техните съобщества и местообитания, природните и културните ценности от вредни въздействия, както и да предотврати настъпването на опасности и щети за обществото при изменение в качеството на атмосферния въздух в резултат на различни дейности.

- Със закона се уреждат определянето на показателите и нормите за качеството на атмосферния въздух, ограничаването на емисиите, правата и задълженията на съответните органи по контрола, управлението и поддържането на качеството на атмосферния въздух.
- Законът регламентира ***ограничаването на емисии на вредни вещества от подвижни и неподвижни източници.***

- **Изискванията на закона се отнасят за проектиране, изграждане и експлоатация на обекти с източници на емисии.**
- Законът определя таксите върху течните горива за националния фонд за опазване на околната среда.
- Законът определя съответните административнонаказателни разпоредби.

2.2. НАРЕДБА № 1 ОТ 16.01.2004г. ЗА НОРМИ ЗА БЕНЗЕН И ВЪГЛЕРОДЕН ОКСИД В АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ /ДВ БР.14/ от 20.02.2004

С тази наредба се урежда установяването на норми за нивата (концентрациите) на бензен и въглероден оксид в атмосферния въздух

- Наредбата съдържа норми за бензен и въглероден оксид в атмосферния въздух.
- Редът и начина за оценка на нивата на бензен и въглероден оксид в атмосферния въздух.
- Изискванията за информиране на обществеността.
- Посочени са изискванията за избор на пунктовете за мониторинг за определяне нивата на бензен и въглероден оксид.

2.3. НАРЕДБА №1 от 13 февруари 1998 г. ЗА УСЛОВИЯТА И РЕДА ЗА УТВЪРЖДАВАНЕ НА ВРЕМЕННИ НОРМИ ЗА ЕМИСИИ НА ВРЕДНИ ВЕЩЕСТВА, ИЗПУСКАНИ В АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ ОТ НЕПОДВИЖНИ ДЕЙСТВАЩИ ИЗТОЧНИЦИ /ДВ бр.51/98/

С тази наредба се определят условията и реда за утвърждаване на временни норми за емисии /концентрации/ на вредни вещества, изпускани в атмосферния въздух от неподвижни действащи обекти.

- Наредбата определя обектите, на които се утвърждават временни норми, както и документите, които се подават до МОСВ и РИОСВ от собственика на обекта.
- Наредбата определя реда за разглеждане на подадените документи и воденето на преговори между комисията, определена със заповед на Министъра на ОСВ, и представител на обекта

2.4. НАРЕДБА №2 от 19 февруари 1998 г. ЗА НОРМИ ЗА ДОПУСТИМИ ЕМИСИИ /КОНЦЕНТРАЦИИ В ОТПАДЪЧНИ ГАЗОВЕ/ НА ВРЕДНИ ВЕЩЕСТВА, ИЗПУСКАНИ В АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ ОТ НЕПОДВИЖНИ ИЗТОЧНИЦИ /ДВ бр.51/98/, изм. и доп.бр.34/99/

Целта на наредбата е чрез спазване на нормите за допустими емисии да се предотвратят или ограничат емисиите на вредни вещества, изпускани в атмосферния въздух от неподвижни източници.

- Наредбата включва съответните определения и норми за емисии на вредни вещества /прах, азотни окиси, въглероден окис, серни окиси, тежки метали и др./ от неподвижни източници.
- Нормите се отнасят за емисии на вредни вещества, изпускани организирано в атмосферния въздух при действащи обекти, реконструкция и модернизация на действащи обекти и при проучване, проектиране и изграждане на нови обекти.

2.5. НАРЕДБА № 6 от 26 март 1999 г. ЗА РЕДА И НАЧИНА ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ЕМИСИИТЕ НА ВРЕДНИ ВЕЩЕСТВА , ИЗПУСКАНИ В АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ ОТ ОБЕКТИ С НЕПОДВИЖНИ ИЗТОЧНИЦИ /ДВ бр.31/99, изм.и доп.ДВ. бр.52/2000/, /ДВ бр.93/2003

С тази наредба се уреждат редът и начинът за извършване на измервания на емисиите /концентрациите на вредни вещества в отпадъчните газове/, изпускани в атмосферния въздух от обекти с неподвижни източници.

- Наредбата включва процедурите за пробовземане и измерване.
- Наредбата посочва редът и изискванията при контролните измервания.
- Наредбата посочва редът и изискванията при собствените периодични измервания.
- Наредбата посочва редът и изискванията при собствените непрекъснати измервания.

2.6. НАРЕДБА № 7 от 3 май 1999 г. ЗА ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОТО НА АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ /ДВ бр.45/99/

С тази наредба се уреждат условията, редът и начина за оценка и управление качеството на атмосферния въздух /КАВ/.

- Наредбата посочва редът за определяне на районите за оценка на КАВ.
- Посочени са начините за оценка на КАВ.
- Посочени са изискванията за извършване на измервания за определяне на КАВ.
- Посочени са изискванията за осигуряване качеството на измерванията.
- Посочени са компетентните органи и изискванията за управление КАВ.
- Посочени са изискванията за информиране на населението.

Наредбата съдържа информация за класификацията на пунктовете за мониторинг, определяне на обхвата им, условията за избор и разполагане на пунктовете, видовете пунктове

2.7. НАРЕДБА №9 от 3 май 1999 г. ЗА НОРМИ ЗА СЕРЕН ДИОКСИД, АЗОТЕН ДИОКСИД, ФИНИ ПРАХОВИ ЧАСТИЦИ И ОЛОВО В АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ /ДВ бр.46/99/, изм.и доп.ДВ. бр.86 от 28.10.2005г.

Тази наредба урежда установяването на норми за нивата на серен диоксид, азотен диоксид, **фини прахови частици /ФПЧ/** и олово в атмосферния въздух, алармените прагове за серен и азотен диоксиди, оценката на нивата на серен диоксид, азотен диоксид, ФПЧ и олово.

- Наредбата съдържа норми за серен диоксид, азотен диоксид ФПЧ и олово в атмосферния въздух.
- Наредбата съдържа изискванията за оценка нивата на съответните замърсители в атмосферния въздух.
- В наредбата са посочени данните, които се предоставят на обществеността в случаите на превишаване на алармените прагове на серен и азотен диоксиди.
- Посочени са критериите за определяне броя на пунктовете за мониторинг за непрекъснато измерване концентрациите на серен диоксид, азотен диоксид, ФПЧ и олово в атмосферния въздух.

2.8.НАРЕДБА № 11 ОТ 11.05.2007г. ЗА НОРМИ ЗА АРСЕН, КАДМИЙ, НИКЕЛ И ПОЛИЦИКЛИЧНИ АРОМАТНИ ВЪГЛЕВОДОРОДИ В АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ /Обн. ДВ БР.42 от 29.05.2007г.

С тази наредба се урежда установяването на целеви норми за нивата на арсен, кадмий, никел и бензо(а)пирен в атмосферния въздух с цел избягване, предотвратяване или ограничаване на свързаните с този зъмъсител възможни вредни въздействия върху човешкото здраве и околната среда.

- Наредбата съдържа норми за нивата на арсен, кадмий, никел и бензо(а)пирен в атмосферния въздух.
- Редът и начина за оценка на нивата на арсен, кадмий, никел, живак и полициклични ароматни въглеводороди (ПАВ) в атмосферния въздух.
- Изискванията за информиране на обществеността.
- Посочени са изискванията за избор на пунктовете за мониторинг

2.9.НАРЕДБА № 14 от 23 септември 1997 г. ЗА НОРМИ ЗА ПРЕДЕЛНО ДОПУСТИМИ КОНЦЕНТРАЦИИ НА ВРЕДНИ ВЕЩЕСТВА В АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ НА НАСЕЛЕНИТЕ МЕСТА /ДВ бр.88/97/, изм. и доп. ДВ бр.8/2002/, ДВ бр.14/2004/, ДВ бр.42/2007/

С тази наредба се определят пределно допустимите концентрации: максимално еднократна /30мин. или 1час/, средноденоношна и средногодишна на вредни вещества.

- Наредбата включва пределно допустимите концентрации на 166 вредни вещества.
- Наредбата съдържа списък на допустими сумарни концентрации при наличие едновременно на няколко вредни вещества.

2.10.НАРЕДБА № 15 от 29 юли 1999 г. ЗА НОРМИ ЗА ДОПУСТИМИ ЕМИСИИ /КОНЦЕНТРАЦИИ В ОТПАДЪЧНИ ГАЗОВЕ/ НА СЕРЕН ДИОКСИД, АЗОТНИ ОКСИДИ И ПРАХООБРАЗНИ ВЕЩЕСТВА, ИЗПУСКАНИ В АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ ОТ НОВИ ГОЛЕМИ ГОРИВНИ ИНСТАЛАЦИИ /ДВ бр.75/99/

С тази наредба се определят норми за допустими емисии /концентрации в отпадъчни газове/ на серен диоксид, азотни диоксиди и прахообразни вещества, изпускани в атмосферния въздух от нови големи горивни инсталации /ГГИ/, които са предназначени за производство на енергия. Нормите за допустими емисии се определят с цел предотвратяване или в случаите, когато това е невъзможно, ограничаване на възможните вредни въздействия върху здравето на населението и околната среда /в нейната цялост/ и в частност - замърсяването на атмосферния въздух със съответните замърсители, в резултат от изгарянето на горива в нови големи горивни инсталации.

- Наредбата посочва, за кои ГГИ се отнасят разпоредбите ѝ.
- Посочени са реда и начина за измерване на емисии на серен диоксид, азотни оксиди и прахообразни вещества /прах и/или сажди, изпускани в атмосферния въздух от нови големи горивни инсталации.
- Посочени са изискванията за спазване на допустимите емисии.
- Посочени са изискванията за избор на пунктовете за мониторинг.

2.11.МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ ПО БАЛАНСОВИ МЕТОДИ НА ЕМИСИИТЕ НА ВРЕДНИ ВЕЩЕСТВА /ЗАМЪРСИТЕЛИ/, ИЗПУСКАНИ В АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ /от 16 юли 2000г., приета от Министерството на околната среда и водите /необнародвана в ДВ/

Методиката се използва за провеждане на инвентаризация и определяне по балансов път на емисиите на вредни вещества във въздуха. Тя адаптира методика CORINAIR-94 за условията на България като се отчитат националните специфики по отношение на дейности, технологии, оборудване и действащата нормативна уредба за атмосферния въздух.

- Методиката се отнася за единадесет основни групи дейности, източници на вредни вещества във въздуха;
- Чрез методиката се изчисляват емисиите на серни оксиди, азотни оксиди, метан, въглероден оксид, въглероден диоксид, двуазотен оксид, амоняк, тежки метали, устойчиви органични съединения, диоксини и фурани, прах;
- Емисиите се изчисляват по следния начин:
- $E = EF \cdot Q$

-

-

Е - емисия, получена в съответно количество

-

EF - емисионен фактор

Q - количествена характеристика

2.12.МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ ВИСОЧИНАТА НА ИЗПУСКАЩИТЕ УСТРОЙСТВА, РАЗСЕЙВАНЕТО И ОЧАКВАНИТЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НА ЗАМЪРСЯВАЩИ ВЕЩЕСТВА В ПРИЗЕМНИЯ СЛОЙ /от 25 февруари 1998г., приета от Министерството на околната среда и водите, Министерството на регионалното развитие и благоустройството и Министерството на здравеопазването /необнародвана в ДВ, публ.в Бюлетин " "Строителство и архитектура" на МРРБ бр.7/8 от 1998г./

Тази методика се използва при изчисляване разпространението в атмосферата на вредни вещества, съдържащи се в изходящите отпадъчни газове от неподвижни източници /промишлени предприятия, топлоелектрически централи и др./, независимо от обема, температурата и състава на тези газове, както и от състава на тези газове, както и от наличието на пречиствателни съоръжения за отпадъчни газове. Чрез инструкцията се решават три задачи:

- Очаквани концентрации на вредни вещества в приземния слой;
- Определяне на ефективната височина на изпускащото устройство;
- Максимално предходно замърсяване от съществуващи изпускащи устройства.

2. Характеристика на дисперсните системи. Скорост на витаене, утаяване и отнасяне

Протичането на производствените процеси в голяма част от промишлеността е съпътствано с **отделяне на различни вредни вещества в производствените помещения, като прахови аерозоли, пушеци и дим, пара, газове и други.**

По-голямата част от вредните вещества биха могли сериозно да застрашат здравето на хората, работещи в помещението. За улавяне и ограничаване на разпространението им се изгражда вентилационна инсталация, съобразена със спецификата на отделяните вредни вещества. Прахът е един от най-често срещаните замърсители на въздуха в производствените помещения. Попадането на прах върху очите или кожата, вдишването му и утаяването на праховите частици в белите дробове би могло да провокира сериозни здравословни проблеми.

1. Свойства на праха

Основни свойства на праха са плътност, абразивност, слепваемост, специфично електрическо съпротивление, пожаро - и взривоопасност.

В областта на прахоулавянето се използват три вида плътност на твърдите частици - **истинска, привидна и насипна.**

Истинската плътност се дефинира като отношение на масата на частицата към заемания от нея обем, изключващ обема на порите в частицата.

Привидната плътност представлява отношение на масата на частицата към заемания от нея обем, включващ обема на порите в частицата.

Насипната плътност е отношението на масата на току-що насипани твърди частици към заемания от тях обем, с отчитане на наличието на въздух между тях.

Абразивността на праха е фактор, влияещ върху избора на транспортна скорост на прахо-газовия поток, дебелината на стените на апаратите и на газоходите, както и на избора на облицовъчни материали за тях. За абразивността се съди по износването на метала при еднаква скорост на прахо-газовия поток и концентрацията на праха в него. Влияние върху абразивността на праха оказват твърдостта на частиците, формата, плътността и размерите им.

Слепваемостта на праховите частици е свойство, което до голяма степен определя експлоатационната надеждност на прахоуловителните апарати, тъй като повишената слепваемост на частиците води до задръстване на елементите на прахоочистващите системи.

Специфичното електрическо съпротивление на праха влияе най-вече върху работата на електрофилтрите. Стойността му зависи от свойствата на отделните частици, от структурата на слоя и от параметрите на газовия поток.

Пожаро- и взривоопасните свойства на праха се определят опитно. Зависят от размера и формата на частиците, от химичните и термичните им свойства, както и от концентрацията им. Поради **голямата контактна повърхност на праха с въздуха** голяма част от видовете прах придобиват способността да горят и да се самозапалват. Особено опасни са тези прахове, които с въздуха образуват взривоопасни смеси. От особено значение за пожаро- и взривоопасните свойства на праха са *температурата на възпламеняване и самовъзпламеняване*.

Дисперсността или фракционния състав на праха е основна характеристика, която определя метода на прахоулавяне и прахоочистване. Аерозолите обикновено са **полидисперсни** – съдържат частици с различни размери.

Дисперсност – разпределение на частиците аерозоли по размер.

Интервалът на изменение на дисперсността е в много –голям обхват – от 10^{-7} до – 1 см.

Долният размер се определя от възможността за самостоятелно съществуване на много малки частици, а горният размер от това много големи частици да са в състояние на отнасяне, без да падат под действие на собственото си тегло.

Целият диапазон се разбива на фракции. **Под фракция се разбира масовата част** на частиците, които се съдържат в определен интервал на размери на частиците. Посочва се също и процентния дял на всяка фракция. Обикновено данните се представят таблично.

Особености

Монодисперсна система – частиците са с еднакъв размер.

Полидисперсна система – частиците са различен размер.

Промишленият прах – полидисперсна система.

Праховете, които се отделят от технологиите на хранителната промишленост - полидисперсни системи.

Движението, витаенето и утаявянето на частиците – фактори при избор на **методи и съоръжения за почистване**.

Закон на Стокс – приложим за частици с размер – 0.05 – 100 мкм.

Съпротивлението на движещото се тяло е:

$$P=3\pi\mu vd$$

- μ Коефициент на динамична вискозност
- v Скорост на движение на частицата
- d - Диаметър на частицата

Тегловната сила – сила от тежестта

$$P_T = \rho d^3 / 6 (\rho_1 - \rho_2) g$$

ρ_1 - Плътност на частицата

ρ_2 - Плътност на средата

При равенство на двете сили се получава зависимост за **скоростта на витане** – не се утаява и не се отнася.

Методи за определяне на дисперсността

- Ситов анализ – 40 мкм
- Микроскопичен метод – 1 мкм
- Центробежна сепарация

Класификация на методите за почистване

Процесът на обезпрашаване на въздуха включва следните основни етапи:

1. Предотвратяване на разпространението на аеродисперсната система в работната зона – локална вентилация - прахоулавяне.
2. Разрушаване на праховия аерозол чрез отделяне на праха от аерозолите – процес на прахоочистиране.
3. Намаляне устойчивостта на праховите аерозоли – изхвърляне в приземния слой на атмосферата.

Методи – класификация:

1. Физически –

- Механични – аеродинамични, хидравлични, филтрационни
- Електрически
- Магнитни

- Акустични
- Оптични
- Йонизиращи
- термични

2. Химически

3. Физико- химически

4. Биохимически –

5. Физико-биохимически

За почистване се използват следните групи методи:

- сухи - гравитационни, инерционни, центробежни, филтрационни.
- мокри – взаимодействие на течност и запрашения газ, неговата повърхност или течна завеса
- електрически – йонизация на молекулите и електризация на газовите частици.

Основни процеси, които се използват са:

- Утаяване
- Коагулация
- Отделяне
- Обеззаразяване
- Горене
- Улавяне

3. Методи за почистване на отпадъчните газове и въздух

Това е основен начин за намаляване на замърсяването на атмосферата от промишлени, енергийни и други източници. **Процесът на почистване включва 3 етапа:**

3.1. Улавяне на отпадъчните газове в непосредствена близост до зоната на изхвърляне (каптиране)

При пречистване на газовете от котли и пещи каптирането е директно, защото изгарянето е в затворено пространство и газовете се отделят организирано – чрез димоходи и комини.

При вагранките в леярните, конверторите за производство на стомана, при операциите трошене, пресяване, шлифование на материали, галванизационните процеси и др. се използват устройства за каптиране във вид на капак или чадър, и мрежа от тръби и вентилатори, осигуряващи засмукване и транспортиране на отпадъчния газ. Така обаче само се предотвратява разпространението на отпадъчните газове в работните помещения.

3.2. Охлаждане на газовете

Отпадъчните газове в някои случаи имат висока температура (над 300 °C) и трябва да се охладят преди подаването им в пречиствателната уредба. Може да се използва смесване на газовете с атмосферен въздух, мокри методи, при които се осъществява пряк контакт на газовете с водата или да се използват котли - утилизатори.

3.3.2. Почистване на газовете от газове и пари. Емисии от технологичните процеси.

а) Сорбционни методи

Това са методи, с които се отделят замърсителите от отпадъчните газове. Тези методи дават възможност за оползотворяване на отделените вредни вещества. Те се делят на:

- **адсорбционни** - Те са основани на поглъщането на газовете или на парите от твърди, сухи поглъщатели (*адсорбенти*), имащи висока порьозност и голяма специфична повърхност. Най-често се използват активирани въглища, силикагел, алуминиев окис и др. Използва се при малки скорости и обеми на отпадъчните газове, но от всички известни методи осигурява най-висока степен на почистване. Поради това намира приложение при почистване на **особено вредни вещества**.

- **абсорбционни** - Те се състоят в промиването на отпадъчните газове с течни реагенти (*абсорбенти*), при което почистването се извършва вследствие на дифузно или химическо поглъщане на замърсителите в абсорбентите (*вода или органични течности*). Абсорбцията се осъществява в хидравлични апарати, създаващи добър контакт на газовете с течността – скрубери, пенни апарати, промивни кули и др.

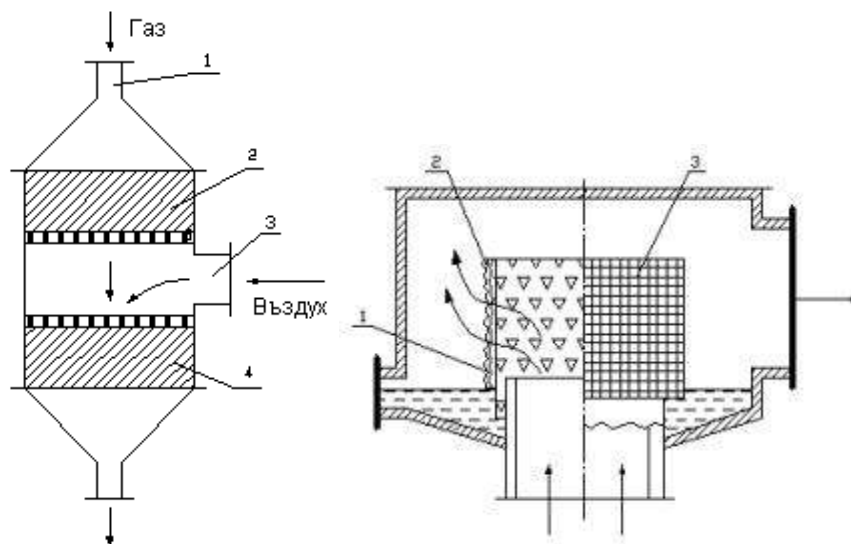
б) Термични методи

Състоят се в окисляване на съдържащите се вредни вещества в отпадъчните газове при висока температура до нетоксични съединения. Използват се специални устройства или се извършва **изгаряне в промишлени пещи**. Най-голямото предимство на този метод е неговата универсалност – използва се за всички видове газове и пари (независимо от техния състав, концентрация на вредни вещества), продуктите на изгаряне на които са по-малко токсични отколкото изходните вещества.

в) Каталитични методи

При тях се осъществява превръщане на токсичните компоненти на отпадъчните газове в нетоксични или малко токсични чрез т.н. **катализатори**, с които се получава повърхностното взаимодействие на реагиращите вещества и се получават междинни продукти. Каталитичните методи намират широко приложение на неутрализация на отработените газове от двигателите с вътрешно горене. При двустепенения каталитичен неутрализатор (фиг.9) газовете постъпват през тръба (1) първо във възстановителен катализатор (2) от медно-никелова сплав за неутрализация на азотните оксиди. След създаване на окислителна среда с подаване на вторичен въздух през тръба (3), на окислителният

катализатор (от оксиди на мед, цинк, хром и др.) се извършва неутрализация на продуктите на непълно изгаряне на горивото – въглероден оксид и въглеводороди. За постигане на висока ефективност на тези устройства е необходимо да се осигури подходяща скорост на газовете през катализатора.[14]



Фиг.9 Каталитичен неутрализатор

Фиг.10 Високоскоростен уловител на аерозоли

3.3.Отделяне на вредните вещества от отпадъчните газове

Използва се принципно различни методи и съоръжения за пречистване от твърди частици (аерозоли) и газообразни замърсители.

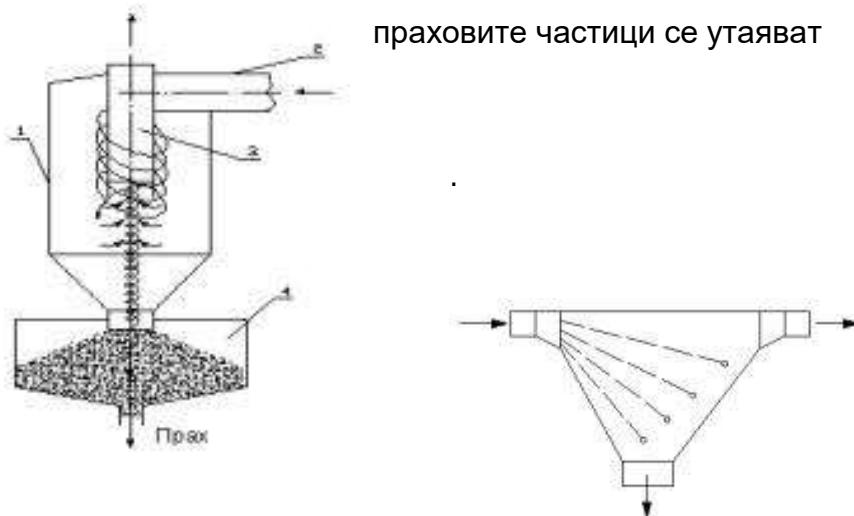
3.3.1.Очистване на газовете от твърди частици

Прахоуловителите са основани на механически принципи (**сепарация, промиване на газовете и филтриране през порест слой**) или **физически принципи (отделяне в електрическо поле и акустична коагулация)**

а) Механични прахоуловители

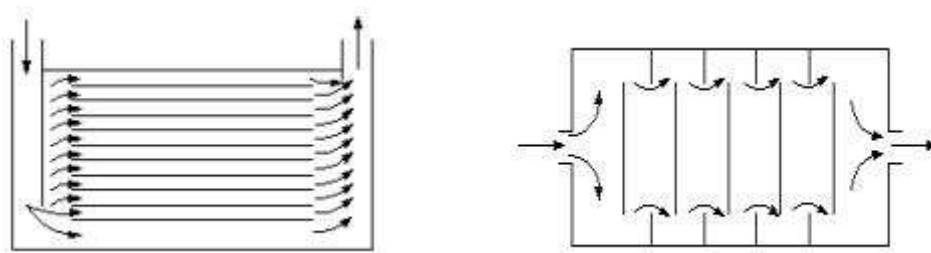
Разделят се на следните видове:

- **гравитационни** - представляват утаителни камери, в които скоростта на запаршения газов поток се намалява дотолкова, че праховите частици се утаяват



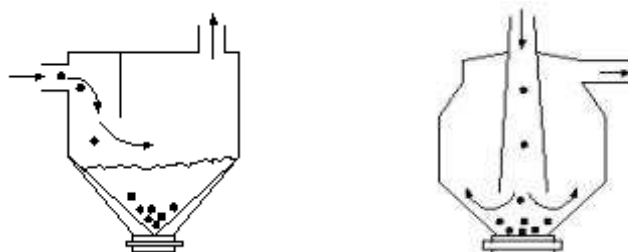
Фиг.1. Утаителна камера

По-голям ефект на гравитационна сепарация се постига при поставяне на хоризонтални или вертикални прегради в камерата.



Фиг. 2. Гравитационни прахоуловители с прегради

- **инерционни** - използва се силата на инерцията на частиците при изменението на направлението или скоростта на аеродисперсияния поток.



Фиг.3. Инерционни прахоуловители

Фиг.4

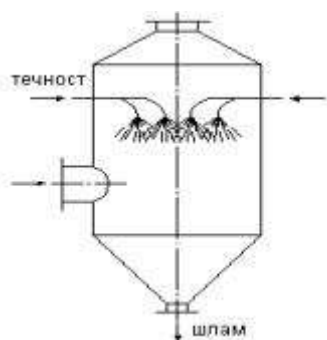
Циклон

- **центробежни (циклони)** - Под влияние на центробежната сила при спиралното движение на въздуха, прахът се отблъсква към външните стени, губи скорост в резултат на триенето и частичките падат на дъното. Циклоните намират приложение в циментовата промишленост, металургията, химическата и хранителната промишленост и др.

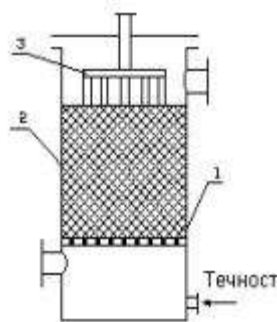
б) Хидравлични прахоуловители

Осъществява омокряне на частиците с вода, което спомага за отделянето им от газовия поток под действието на тежестта, центробежната сила или най-често прахът се отделя с промиващата течност във вид на шлам. Основните видове прахоуловители от тази група са:

- **Оросителни устройства** - Газовете се подават през завеса от водни капчици. Използва се също и завеса стичаща се по тръби. (фиг.5)



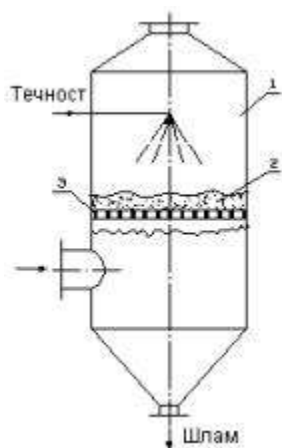
Фиг.5 Оросително устройство



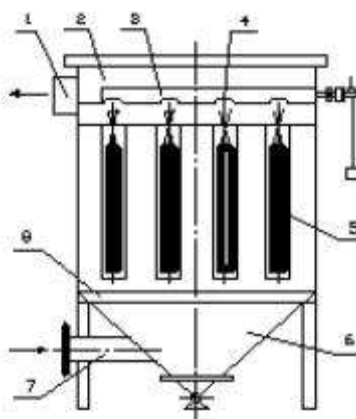
Фиг.6 Скрубер

- **Скрубери** - Това са промивни кули (1), обикновено с пълнеж от рашингови пръстени (2), с оросителни устройства (2) в горната част (фиг.6)

- **Пенни апарати** - Димните газове се пропускат в камера (1) през течен слой създаван от разпръскватели (2) със скорост 5-12 m/s, при което върху решетката (3) се образува слой от пена, в който газът и течността интензивно се размесват (фиг.7). Така се получава охлаждане и пречистване на газа от прах и газообразни вещества.



Фиг.7 Пенни апарати



Фиг.8 Ръкавен филтър

- **Апарати с пулверизация** - Водата се пулверизира чрез инжектиране в стеснената част на секцията. Скоростта на газа се увеличава, пулверизираната вода се разпръсква на фини капчици, които имат първоначално относително по-малка скорост от тази на частиците и повишават ефективността на задържането им. Комбинират се обикновено с циклони.

в) Прахоуловители с порест слой

Отпадъчният газ преминава през порест слой съставен от подходящо профилирани материали с минерален произход (кокс, пясък, чакъл), от рашигови пръстени от метал или пластмаса, от влакна, от хартия, филц или тъкани.

в) Филтриращи прахоуловители

Пречистването чрез филтрация има редица предимства – възможност за задържане на частици с малки размери (под $1\mu\text{m}$), малка зависимост на улавяне от физико-химичните свойства на праха и др. Недостатъците им са високият разход на енергия, невъзможността да се пречистват газове с висока влажност и др. Като филтриращи материали се използват вълнени, памучни тъкани и синтетични тъкани, силиконови влакна и др. Широко се използва т.н. тъканни ръкавни филтри с импулсно продухване (фиг.8).

3.3.3.Очистване на газовете от течни аерозоли

За почистване на газовете от аерозоли на киселини, основи, масла и други течности се използват влакнести филтри. Същите се разделят на две групи:

- **Нискоскоростни** ($V < 0,15 \text{ m/s}$), при които преобладава ефекта на дифузно отлагане на капките

Високоскоростни ($V = 2 - 2,5 \text{ m/s}$), където ефектът се получава от инерционните сили. На фиг. 10 е показан високо скоростен уловител с цилиндричен филтриращ елемент (3) от влакна (2). Около филтъра е разположен слой от перфорирани плоски или гофрирани пластмасови ленти (1) за задържане на пръските от течността.

4. ПАРИ И ГАЗОВЕ, ЗАМЪРСИТЕЛИ НА АТМОСФЕРАТА ОТ ТЕХНОЛОГИЧНИ СЪОРЪЖЕНИЯ НА ХВБП. РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА ЗАМЪРСИТЕЛИТЕ. ПАРНИКОВ ЕФЕКТ.

A. ПАРИ И ГАЗОВЕ

1. АЗОТЕН ОКСИД И АЗОТЕН ДИОКСИД – ОТ ГОРИВНИТЕ ПРОЦЕСИ.
2. СЕРНИТЕ СЪЕДИНЕНИЯ – ОТ ГОРЕНЕ, ТРАНСПОРТА, ПРЕРАБОТКА НА ОТПАДЪЦИ, ХИМИЧЕСКА И ХРАНИТЕЛНА ПРОМИШЛЕННОСТ.
3. ВЪГЛЕРОДНИ СЪЕДИНЕНИЯ – ГОРЕНЕ
4. МЕТАН, ФОРМАЛДЕХИД,

ТАБЛИЦА ЗА РАЗПРОСТРАНЕНИЕ

Сформирани са:

Таблица 3.2.

Някои характеристики на основни микрогазове в тропосферата

Микро-газове	Световна емисия		Източник		Вредно въздействие
	Обща, 10 ⁹ kg/год	Антроп. част, %	Антропог.	Естествени	
NO, NO ₂	160	80	Процеси на горене	Гръмотевични бури	Смог, образуване на O ₃ и к-ни, заболявания на дихателните пътища, киселинни дъждове, увреждане на горите
SO ₂ *	400	40	Процеси на горене	Блата, вулкани, океани	Смог, образ. на O ₃ и к-ни, заболявания на дихателните пътища, киселинни дъждове, увреждане на горите
CO	3400	90	Процеси на горене окисление на CH	Растения, океани, окисление на естествен CH	Токсичен смог
CH ^{**}	1000	10	Транспорт, разтворители	Дървета	Важни за образуване на фотосмог, голяма част – канцерогенни
CH ₄	500	60	Отглеждане на животни, оризища	Блата, термити, геотермална активност	Важни за образуване на фотосмог
HCl	н.д.	100	Горене на Cl-съдържащи вещества	–	Токсичен, киселинни дъждове
HCN***	н.д.	100	Разтворители	–	Токсични, голяма част – канцерогенни

*Всички S-съединения, преизчислени като SO₂;
 **CH=въглеводороди без CH₄;
 ***C/CH=халогенвъглеводороди;
 н.д.=няма данни

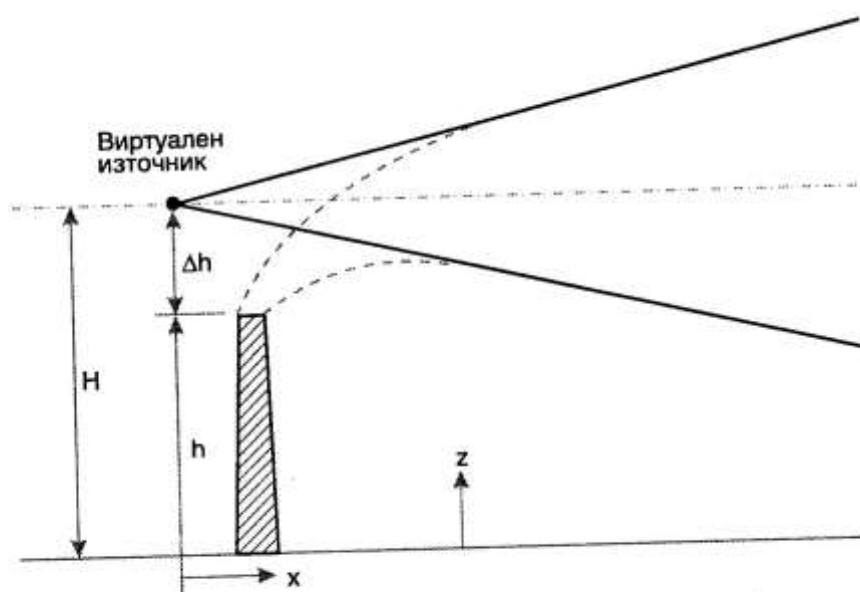
Емитираните от различни източници атмосферни замърсители се **пренасят, разсейват или концентрират** в атмосферата при различни условия. Процесът

завършва, когато замърсителите се утаяват върху почвата, растителността, водните повърхности, отделните предмети или се измиват от атмосферните валежи или дифундират в космическото пространство.

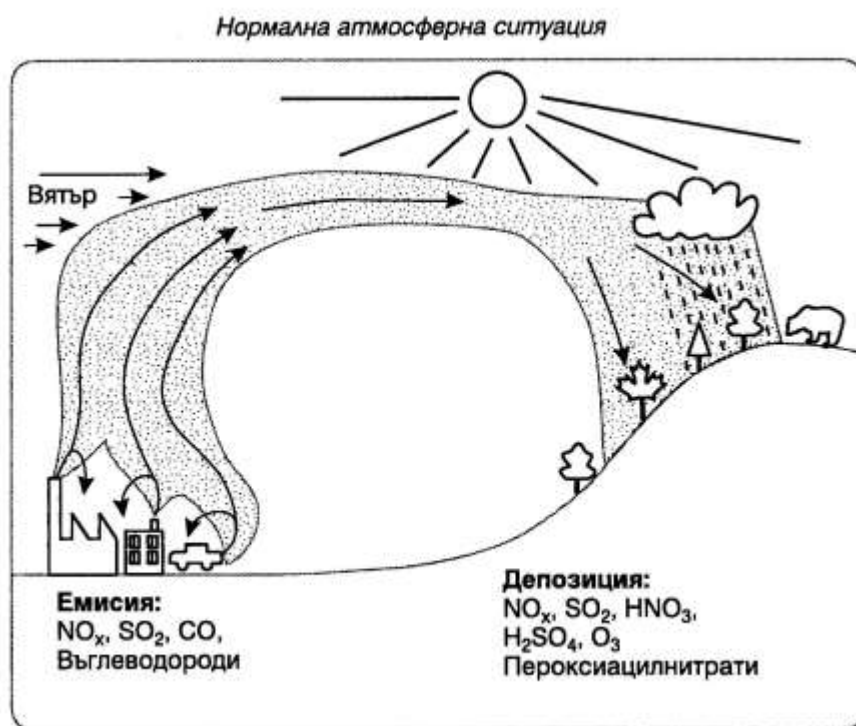
Разпространението на замърсителите зависи от много фактори – физически, химически свойства на емитираните вещества, метеоусловията, релеф на местността, начин на емисия и др.

Напоследък се създават **математически модели** за атмосферните процеси за оценка на разпространението на замърсителите. Трудно се отчита съвкупността от всички фактори.

Утаяването на замърсителите се означава като **депозиция**.

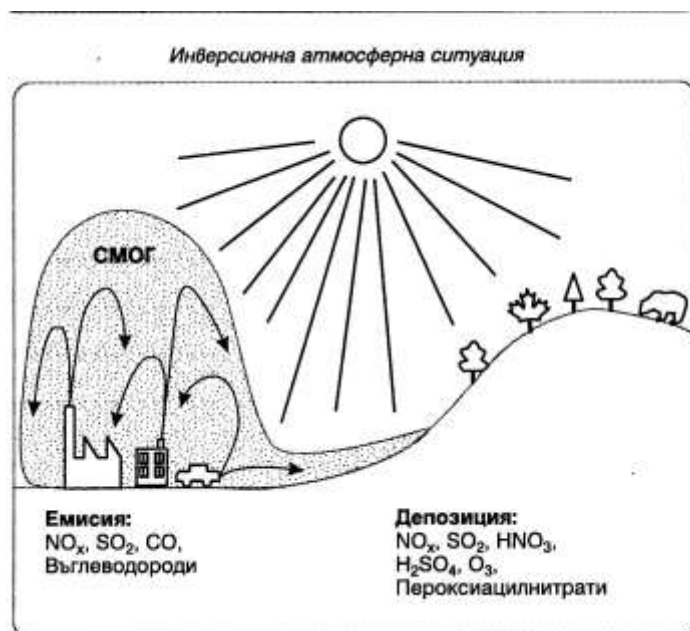


Фиг. 3.4. Разсейване на замърсители от виртуален източник с ефективна височина h



Нормална депозиция – положителен температурен градиент – трансмисия – издигат се нагоре, превръщане в киселини, озон или други продукти

Само малка част от замърсителите се връщат обратно към местата на емисия



Задържането на замърсен атмосферен въздух – смог- *отрицателен* температурен градиент – високите слоеве са с по-висока температура от приземните – намаля се придвижването и разсейването на слоевете.

- увеличаване на концентрацията на замърсители в приземния слой.

4.2. Парников ефект

Парников ефект е прието да се нарича механизмът, предизвикващ повишаване на температурата на земната повърхност и долните части на атмосферата.

Причината за това е различната прозрачност на въздушните слоеве към слънчевата светлина и топлинното излъчване от Земята.

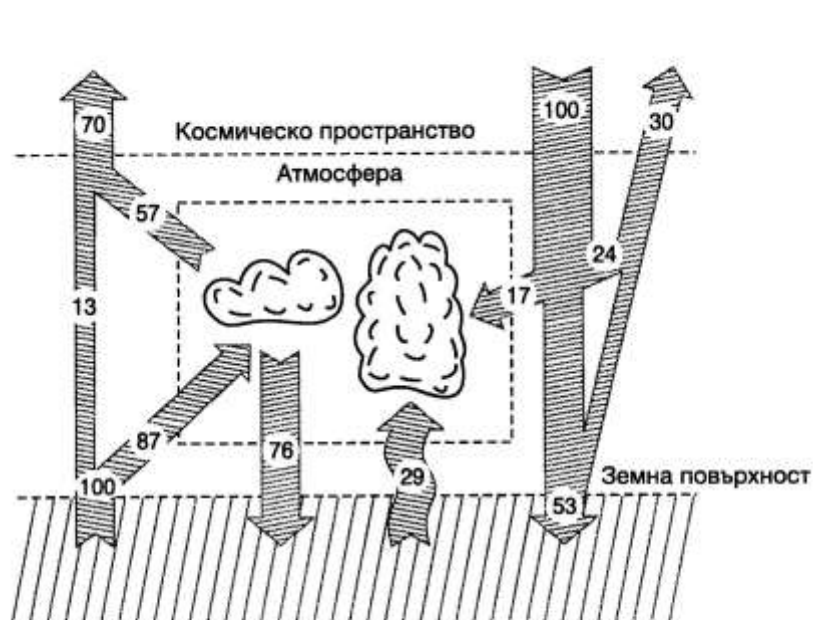
Ако я нямаше атмосферата нямаше да има и парников ефект.

Парниковият ефект се свързва обикновено с повишаване на концентрацията на въглеродния диоксид в атмосферата и действието му наподобяващо стъкления покрив на оранжерия.

Покривът на парника, както и атмосферата са по-прозрачни на късовълновото слънчево лъчение, отколкото на дълговълновото топлинно излъчване на земната повърхност. Това намалява загубите на топлина чрез излъчване. Но аналогията с атмосферата не е пълна. Въглеродният диоксид не е единствения газ, който има принос към затоплянето. В атмосферата няма прегради, както в парника и съществуващите процеси на конвекция, хоризонтални движения на атмосферните слоеве и процесите с участие на влагата в атмосферата усложняват всичко.

От гледна точка на разглеждането на Слънчевото лъчение по законите на Болцман и Вин и след преобразувания на уравненията за лъчистата енергия се получава, че Земята трябва да има температура 255 K или -18 C. Това съответства на измерванията направени със сателити и се определя като ефективна радиационна температура на земната атмосфера. Действителна температура на земната повърхност е 288 K или 15 C.

Разликата от 33 K е следствие на естествения ефект на задържане от компонентите на атмосферата на излъчваната от Земята топлина и се нарича парников ефект



Фиг. 3.8. Схема на радиационния и топлинния баланс в системата Земя-атмосфера

Наличието на парников ефект е още преди възникването на човечеството. Друг е въпроса как ще се промени при изменение на концентрацията на парниковите газове в атмосферата.

Дали увеличаването на концентрацията на парниковите газове ще доведе до увеличаване на температурата на земята -- не може да се даде количествена оценка. Извършват се моделни изследвания.

Например – концентрацията на CO₂ преди 160 години е била 260-280 ppm, а сега е 330 ppm – по 1.5 ppm на година.

$$1 \text{ ppm} = 1 \times 10^{-6} \text{ g/g} = 1 \text{ } \mu\text{g/g}$$

Тук трябва да се отчете понижаването на концентрацията в резултата от поглъщане от сушата и океана.

Затопляне на климата – всички моделни изследвания показват това.

Класификация на методите за почистване

Процесът на обезпрашаване на въздуха включва следните основни етапи:

5. Предотвратяване на разпространението на аеродисперсната система в работната зона – локална вентилация - прахоулавяне.
6. Разрушаване на праховия аерозол чрез отделяне на праха от аерозолите – процес на прахоочистване.
7. Намаление устойчивостта на праховите аерозоли – изхвърляне в приземния слой на атмосферата.

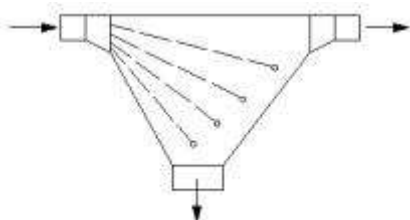
Физически методи за почистване на въздуха

- Механични – аеродинамични, хидравлични, филтрационни

а) Механични методи и прахоуловители

Разделят се на следните видове:

- **гравитационни методи** – за **работа на гравитационни прахоуловители** - представляват утаителни камери, в които скоростта на запрашения газов поток се намалява дотолкова, че праховите частици се утаяват



Фиг.1. Утаителна камера

Праховата частица, внесена в камерата с потока въздух е подложена на действието на две сили

– за сметка на кинетичната енергия на потока, в който се намира и се премества в хоризонтално направление.

- Под действие на гравитационните сили частицата се утаява на дъното на камерата.
- Равнодействащата сила може да се получи по правилото на правоъгълниците.

В хоризонтално направление частицата изминава път

$$l = v_l \tau$$

А във вертикално

$$h = v_v \tau$$

- Време за престой на частицата в камерата
- Скорост на движение на частицата в хоризонтално направление
- Скорост на движение на частицата във вертикално направление

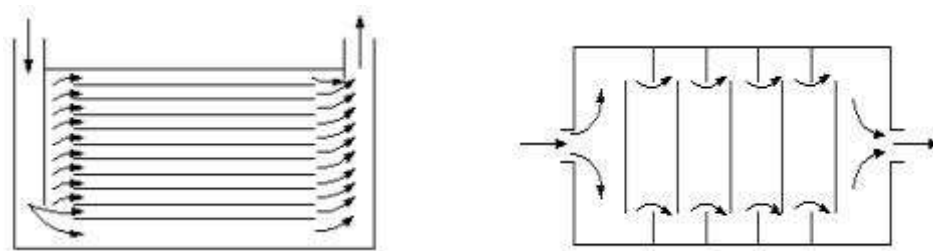
От приравняване на двете зависимости се получава израз за определяне дължината на камерата, за да може частицата да падне на дъното на камерата.

$$l = h \frac{v_l}{v_v}$$

От израза е видно, че колкото е по-малка височината на камерата, толкова по-бързо ще се утаи частицата. От тук следва, че най-добре е конструкцията да се раздели на няколко паралелни канали с помощта на хоризонтални прегради.

Може да се приложи и използването на вертикални прегради, които да образуват лабиринт.

По-голям ефект на гравитационна сепарация се постига при поставяне на хоризонтални или вертикални прегради в камерата.



Фиг. 2. Гравитационни прахоуловители с хоризонтални и вертикални прегради

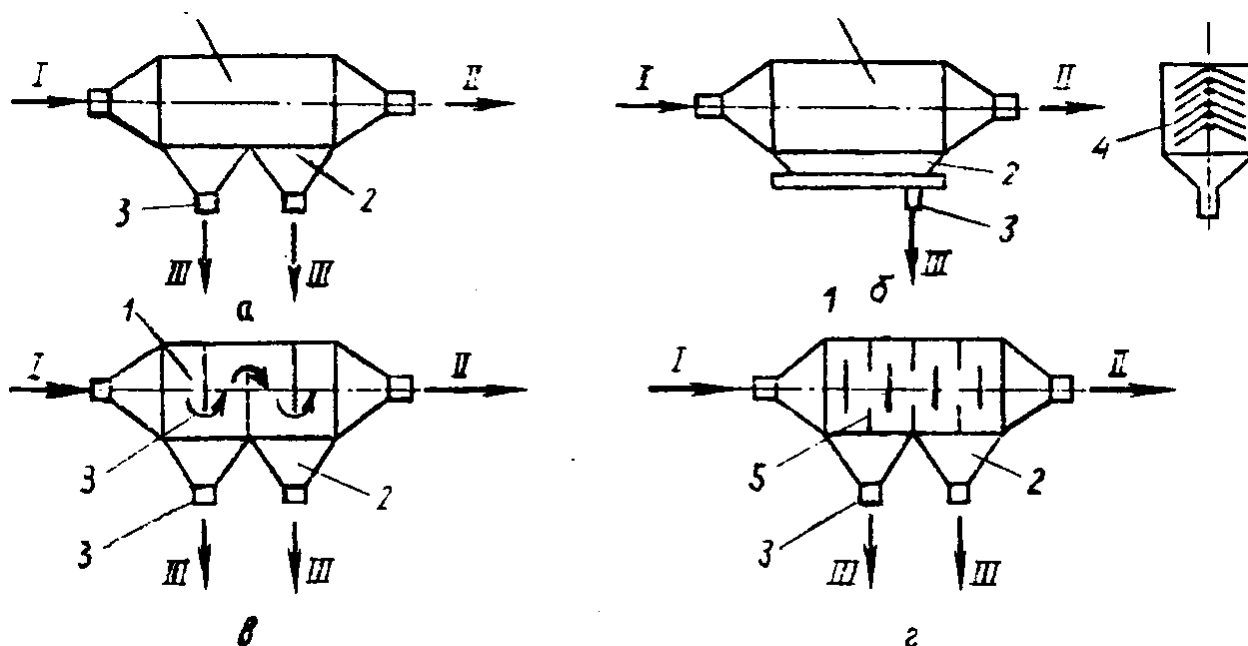
Не е ефективен този метод за улавяне на прах с малки размери.

Гравитационните утайители – частицата се отделя от потока, утаява се под действие на собственото си тегло.

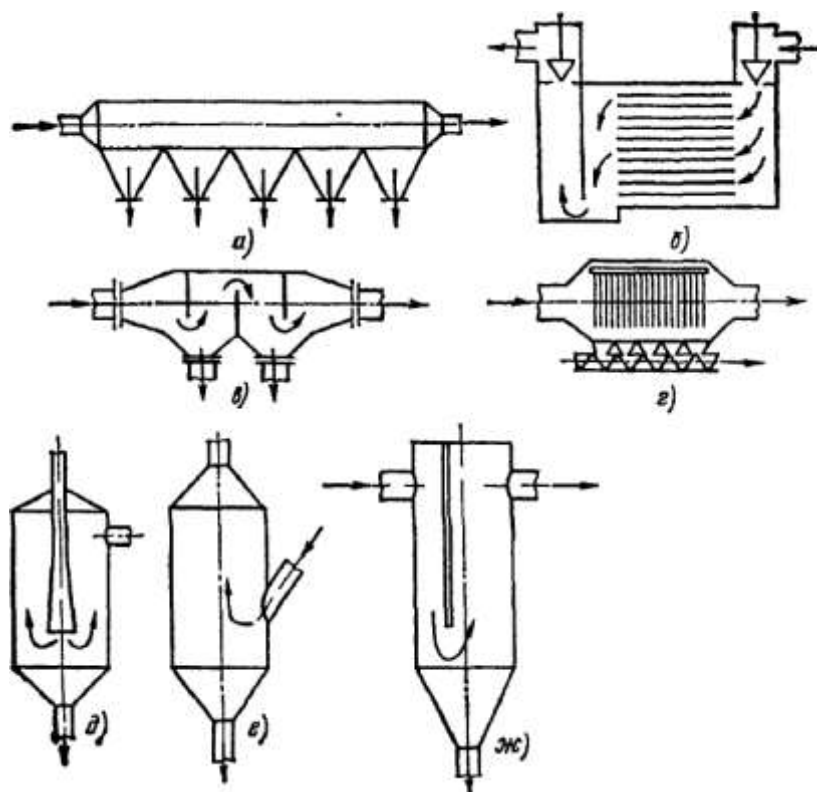
В **инерционните утайители** – потокът с частиците се подлага внезапно на изменение на направлението. Възникналите инерционни сили се стремят да изхвърлят частицата от течението.

Скоростта на утаяване е пропорционална на силата на утаяване. Поради много малкото тегло на частиците **гравитационния метод не е ефективен за частици с размери по-малък от 100 мкм.**

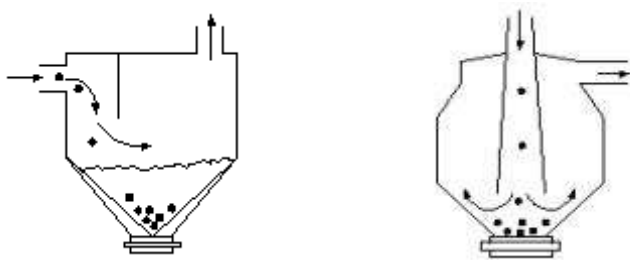
При използване на инерционния метод ефективността рязко се повишава. При този метод може да се намали



Гравитационен метод - приложение



инерционни методи - използва се силата на инерцията на частиците при изменението на направлението или скоростта на аеродисперсияния поток.



Фиг.3.Инерционни прахоуловители

Силата действаща на частицата по вертикала

- Силата на тежестта

- Съпротивлението на частицата

$$m \frac{dv}{dt} = mg - \xi \frac{\rho v^2}{2} \pi r^2$$

Изработка от:

бетон

зидария,

неметални материали – дърво

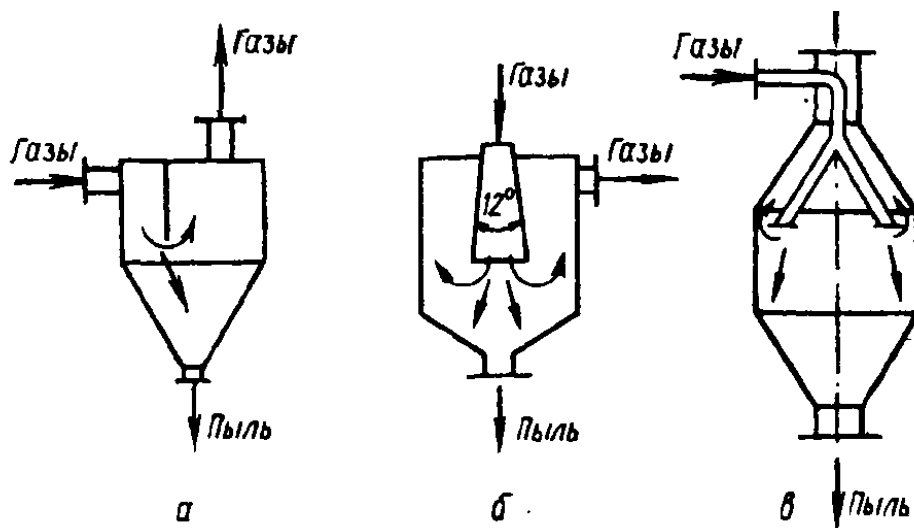
Приложение на метода – за първично улавяне на грубите частици в газовия поток.

Трябва да се разполагат последователно с прилагане на други методи по посока на течението.

Работят дълго време, без обслужване и с малки енергийни разходи.

5. ИНЕРЦИОННИ МЕТОДИ ЗА ОЧИСТВАНЕ НА ВЪЗДУХА

Центробежни прахоуловители (циклони)



фиг. 2. Инерционни прахоуловители с различни особености на подаване и разпределение на газовия поток:

а - камера с преграда; б - камера с разширен конус; в - камера с бункер.

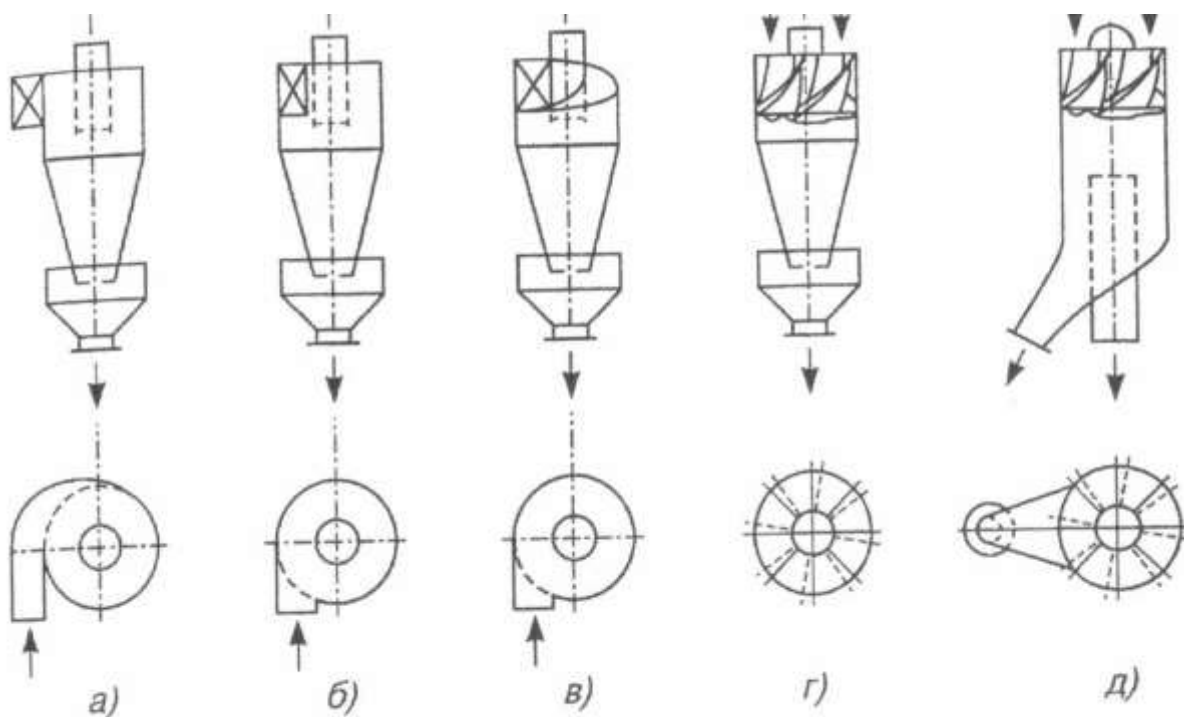
Области на приложение в хранителната промишленост:

- При **сушене на хранителни продукти**, при предварителна обработка на етерично маслени продукти, се отнася значително количество материал, с различен размер, като концентрацията на праха се движи в границите от 2-30 г/м³.
- При **използване на димни газове за сушен агент**, при напускане на пещите увличат със себе си много неизгорели частици с концентрация 10-30 г/м³.

Използването на различните методи е функция от едрината на праха. За улавяне на по-едрите и по-тежки частици се използва **инерционния метод**.

Описание на метода:

Под влияние на **центробежната сила** при спиралното движение на въздуха, прахът се отблъсква към външните стени, губи скорост в резултат на триенето и частиците падат на дъното.



Фиг. 6.9

Циклони

Най- голямо разпространение в групата на прахоуловителите имат циклоните.

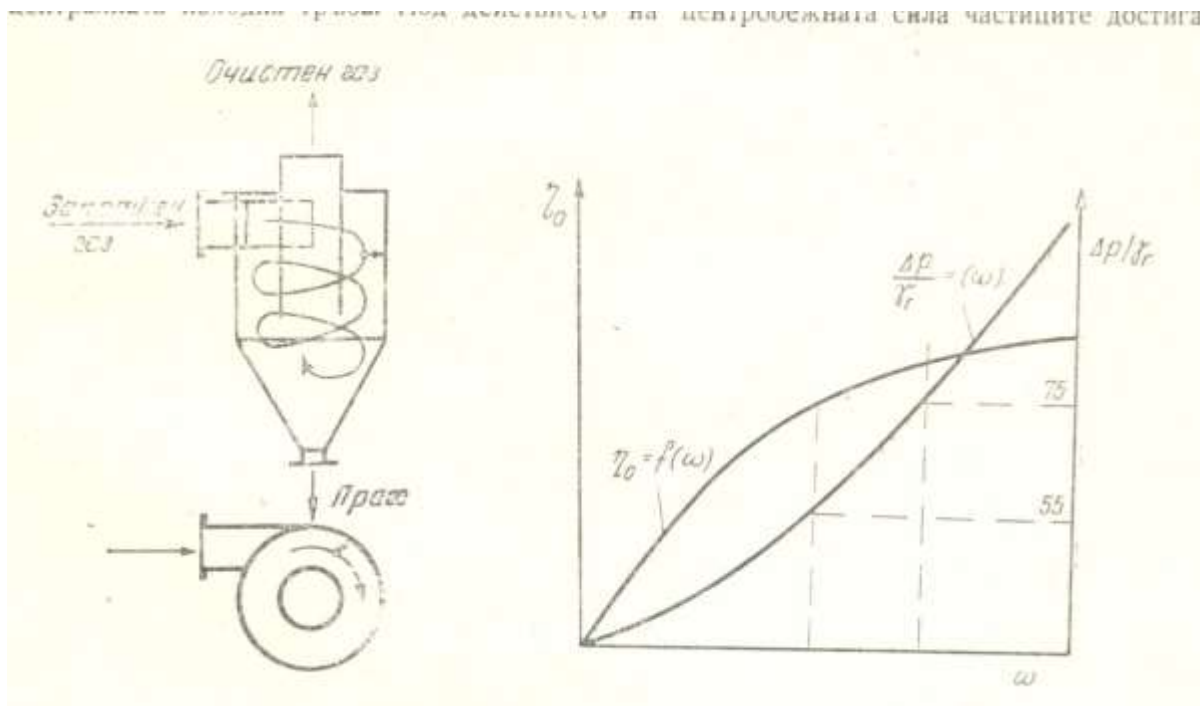
Запрашеният, замърсеният, газ се поддава в циклона чрез тангенциални или аксиални завихрителни, като извършват в апарата сложни възвратно - постъпателни движения, вихрови движения.

Частичките увлечени в потока към вътрешността на циклона са под въздействието на инерциална сила, която се стреми да ги смеси по криви *токови линии* по допирателните, насочени към някои ъглите долу и по стените на корпуса. Частичките в съприкосновение с вътрешните повърхности на стените, под действието на силата на тежестта, инерцията и падащият газов поток и попада в прахоприемник (бункер). Частичките не достигащи стените продължават движението си по криволинейните токови линии и могат да бъдат изхвърлени от циклона с газовия поток. Той може да увлече и определено количество останали в бункера частици.

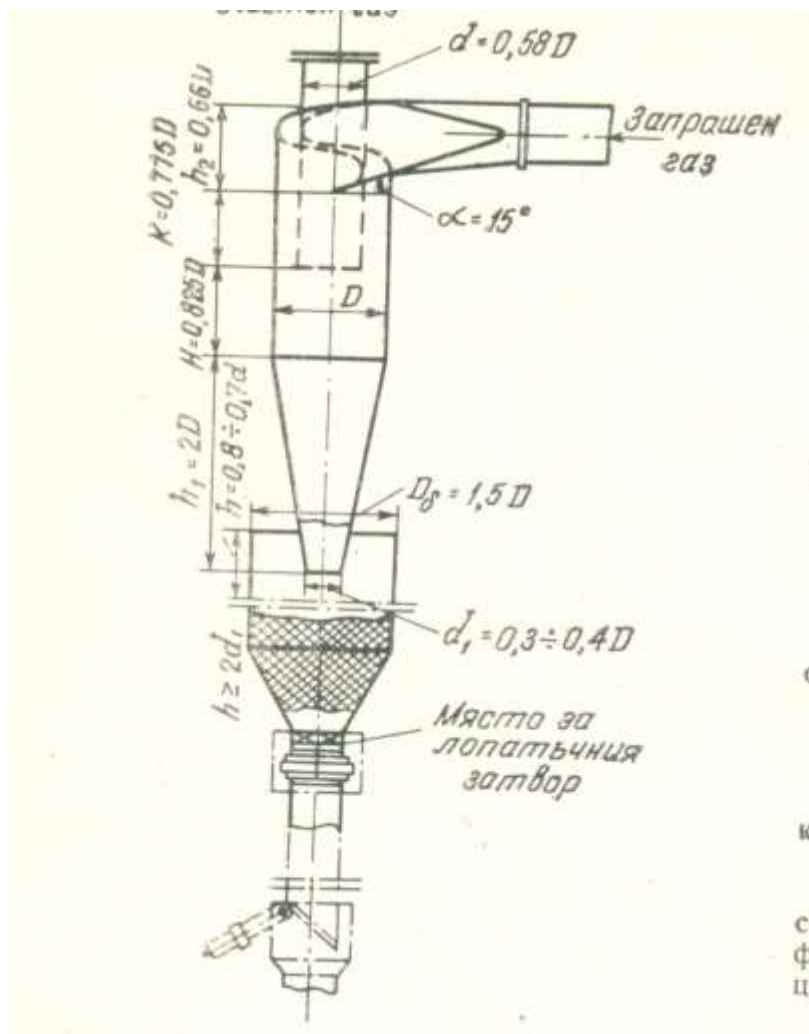
Газът, като направи 2-3 оборота, идва до бункера, изменя посоката си нагоре и през централната тръба напуска циклона. Това вече се счита очистен газ.

Счита се, че траекторията на движението на изкачващите се частици е близка до окръжност, възможно е да вземат стойности на възникващите сили на инерция, която е пропорционална на квадрата на тангенциалната скорост, масата на частиците и обратно пропорционална на радиуса на въртящите се. Така радиуса на въртящите се е по – малък и тангенциалната скорост е в рамките на 10...15 м/с , силата на инерцията в същият ред е по – голяма от силата на тежестта.

Поради тази причина сепарацията, отделянето на частиците в циклоните е много по- интензивна отколкото в гравитационните прахоуловители.



С **нарастване на скоростта** на газа в циклоните, степента на почистване рязко се увеличава, а след това нараства незначително. **Хидравличното съпротивление** се увеличава с квадрата на скоростта, методът се счита за удачен, когато има равенство на тези две величини. При по-големи стойности има значителен преразход на електроенергия, без чувствително подобряване степента на почистване.



Съпротивлението на газа в циклона се определя от известните зависимости за загуби от налягане.

От това уравнение се определя *условната скорост* на газа, която би се получила при вертикалното му движение през цилиндричния корпус на циклона.

Диаметърът на циклона се определя от израза

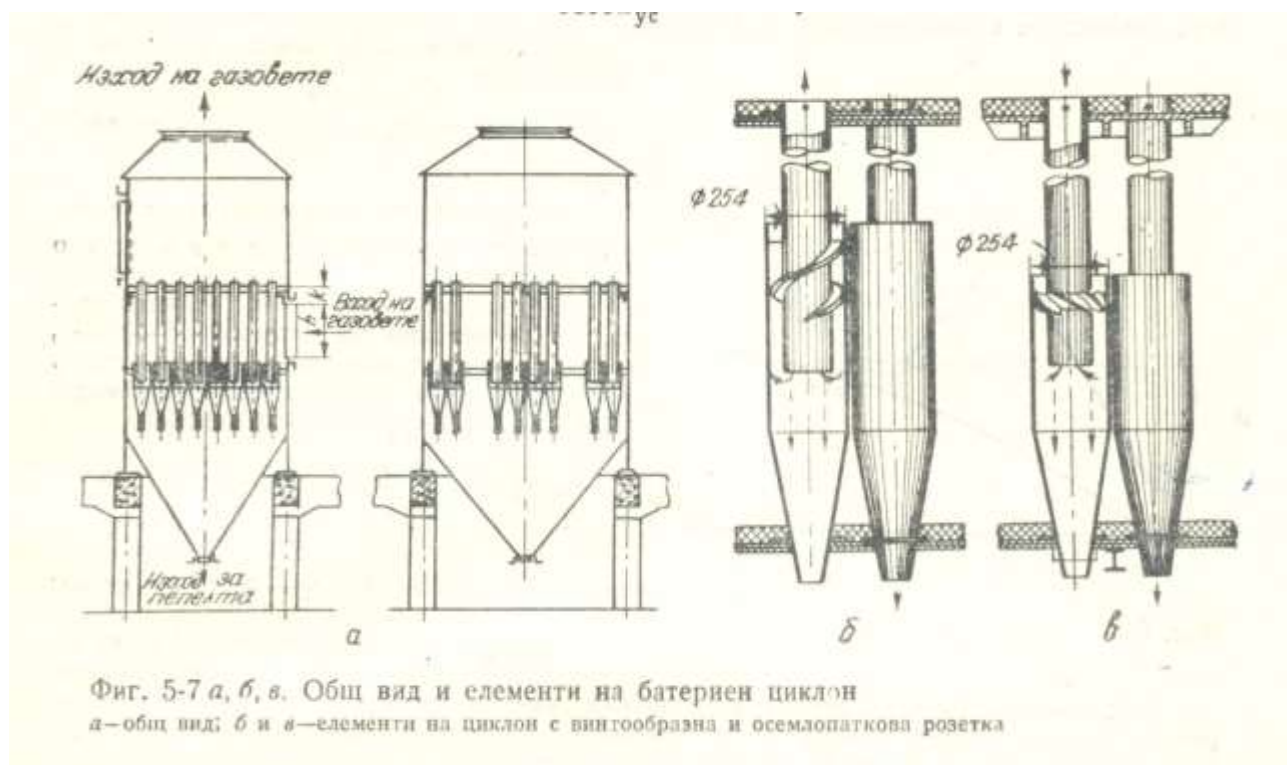
Опитът показва че диаметърът не трябва да надвишава 800 мм.

$$F = \frac{V}{3600 w} = \frac{\pi D^2}{4}$$

като V е обемният дебит на подлежащия на почистване газ.

Брой циклони - степени на почистване.

Когато броят на циклоните е голям - включват се паралелно или се изграждат батерийни циклони.



Доколкото **инерционната сила** е пропорционална на масата, то малките частици се улавят трудно в циклона. Степените на почистване на аерозолите с размер на частиците повече от 10 мкм се намират в пределите на 80 – 95 % , а по – малки частици доста по-малко.

Увеличения ефект на утаяването на частиците в по – малки диаметри на циклоните и повишена скорост на потока е възможно до някои пределни технически ограничения и икономически фактори, като енергетични разходи, почистване в следствие на повторното улавяне на сепарирани частици, абразивно износване и др.

Ефективността на циклоните може да се обясни със следния пример:

Маса на частиците – m , движеща се по траектория – r

с тангенциална скорост u , уловена по действието на центробежната сила $m \cdot u^2 / r$.

За обикновенни условия $u=15$ м/с, $r=0,6$ м. Тази сила например превишава 39 пъти силата на тежестта. При тези условия силата рязко може да увеличи скоростта си в камерата.

Циклоните са просто устроени, надежни при експлоатацията при големи натоварвания и температури, обезпечават фракционното почистване до 80 – 95 % от прашните частици с размери по – големи от 10 мкм. В повечето случаи циклоните обезпечават ефективно почистване, достатъчно за почистване на въздух или газ в атмосферата.

Приет е стандартен ред за размерите на вътрешния диаметър D : 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400 и 3000 мм. За всички единични циклони бункерът се състои от цилиндър с коничен накрайник.

Диаметъра на бункера приема $1.5 D$ за цилиндричните и $1.1...1.2 D$ за коничните. Височината на цилиндричните части на бункера са $0.8 D$, а ъгълът на конусните стеснения е 60° .

Циклоните се делят на циклони с голяма производителност и такива с голяма ефективност. Първите имат обикновено голям диаметър и обезпечават почистването на значителни количества въздух. Вторите са със сравнително не големи размери / до 500 - 600 мм./ Много често те се използват комбинирано. Ефективното почистване на въздуха много често зависи от дисперсния състав и плътността на частиците, а така също и от плътността на газа, зависеща от температурата. При намален размер на циклона и определена висока скорост на газа, ефективността расте значително. Затова диаметрите на серийно произвежданите циклони не превишава 5 м.

Циклоните се използват най – вече за грубо и средно почистване на въздуха от сухи и неслепващи се пращинки.

Прието е, че те не са много ефективни при размери на частиците от 5...10 мкм, което е основния му недостатък. От друга страна високо ефективните циклони улавят пращинки с размери 10 мкм до 80 и повече % ефективност. В съвременните високо ефективни циклони с определен бр. особености за улавяне на праха са успели да увеличат съществено общата и фракционна особеност на почистването.

Отбелязано като най- голям недостатък на циклоните е обусловен от работата им и по- конкретно турбуленцията на потока запрашен въздух, който възпрепятства сепарацията на праха. Разработени са и приети в техниката за обезпрашаването голям брой различни видове циклони , които се различават помежду си по формата, размера и съотношението на елементите и т.н.

Конструктивно циклоните могат да бъдат изпълнени като – единични, групови и батерийни. Сред единичните и групови циклони най – голямо разпространение имат тип - НИИОГаза, ЦН-15 и СК-ЦН с производителност 600...230 000 м³/ч, а от батерейните циклони - тип БЦ-2, ПБЦ, ЦБ-254 Р, ЦБ-150 с производителност от 12000 до 480 000 м³/ч. Ефективното почистване в батерейните циклони, а така също в техните циклонни елементи зависи от значително по- малък диаметър при равни производителности.

Запрашения въздух постъпва в циклона чрез входяща тръба. В зависимост от начина на влизането на въздуха в циклона се различават – циклони с тангенциален и спираловиден вход на въздуха. При равни условия циклоните със спирален вход имат най –голяма ефективност. Потокът запрашен въздух обикновено влиза със скорост 14...20 м/ с. Наименуването на циклоните е като десен / връщането на потока запрашен въздух по часовниковата стрелка, ако гледаш отгоре/ и ляв /връщане обратно на часовниковата стрелка/

Скоростта на газа в празното сечение на цилиндричната част на циклона трябва да бъде в границите 2.5 3.5 м/с, а скоростта 2.5 м/с, препоръчва се да се взема при работата абразивен прах.

5. ОСНОВНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АПАРАТИТЕ ЗА ОЧИСТВАНЕ НА ВЪЗДУХА ОТ АЕРОЗОЛИ. ОЦЕНКА НА ИЗПОЛЗВАНИТЕ МЕТОДИ.

Към основните характеристики на методите и оборудванията за почистване на въздух се отнасят:

- **Ефективност на почистване на въздуха от прах – коефициент на полезно действие.**
- **Хидравлично съпротивление на апарата – за избор на хидравлична машина.**
- **Цена на почистването – за оценка на икономическата стойност на метода и съоръжението.**

Към общите параметри на прахоуловителите се отнасят:

- **производителност относно почистващия газ – за избор на метода и съоръжението.**
- **енергоемкост – използвана енергия за почистване на 1000 м³ - .**

При оценка на ефективността на работа на прахоуловителите, които използват различни методи, се взимат под внимание:

- **Общата ефективност** на прахоочистиране, или количеството прах, задържано в прахоуловителя по отношение на количеството прах, съдържащо се в обезпрашения газ.
-
- **Фракционната ефективност**, определяща пълнотата на улавяне на частиците с определени размери. Тя се изразява в проценти на

отделените в прахоуловителя частици прах с определени размери.

- **Остатъчното съдържание** на прах в газа при изхода му от прахоуловителя.
- **Разпределение на остатъка** от прах в газа по размер на частиците – фракционен състав - или по скорости на витаене.

Освен това **съществени фактори** за оценка на ефективността на прахоулавяне се явява разходът на **потребляемата енергия** а при избора на типа на прахоуловителя — честотата на разпределение на дисперсните фракции.

5.1. Основен показател, характеризиращ работата на апаратите за почистване на въздух в различни случаи на приложение, се явява **коэффициентът -степен- на почистване (ефективност на обезпрашаване), изразен в %:**

$$\varepsilon = \frac{M_{\text{ул}}}{M_{\text{вх}}} \cdot 100 = \frac{M_{\text{вх}} - M_{\text{вых}}}{M_{\text{вх}}} \cdot 100 = \frac{M_{\text{ул}}}{M_{\text{ул}} + M_{\text{вых}}} \cdot 100 ,$$

където - $M_{\text{вх}}$, $M_{\text{ул}}$ и $M_{\text{вых}}$ — е масата на частиците прах, съдържаща се в газа, съответно **на входа** в апарата (т. е. до почистването), **уловените в апарата** и **изхода на апарата** след почистването.

При използване на различни методи и експлоатацията на отделните видове апарати за прахоулавяне е възможен дисбаланс по отношение на газа. В този случай дебитът на газа се преизчислява за стандартни условия, а коэффициентът на почистване се определя по формулата в (%):

$$\varepsilon = \frac{C_{\text{вх}} V_{\text{вх}} - C_{\text{вых}} V_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}} V_{\text{вх}}} \cdot 100 ,$$

където $C_{\text{вх}}$ и $C_{\text{вых}}$ — е **средната концентрация на частиците в газа**, съответно на входа и изхода на апарата (в размерност mg/m^3); $V_{\text{вх}}$ и $V_{\text{вых}}$ — **обемният дебит на газа**, постъпващ в апарата и изходящият от апарата.

Общият коефициент на почистване зависи от експлоатационните условия и недостатъчно пълно отразява степента на неговото съвършенство при работа с прах с различна дисперсност.

Степента на съвършенство характеризира достигащите с негова помощ **фракционен коефициент на почистване**.

Ако обемните дебити на газа на до апарата и след него са равни, то изразът приема разпространения вид.

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{C_{\text{след}}}{C_{\text{до}}}\right) \cdot 100\%.$$

Ако няма засмукване на въздух в апарата, ефективността на почистване се определя по формулата:

$$\varepsilon = 1 - \frac{M_{\text{след}}}{M_{\text{до}}} \cdot 100\%.$$

При **последователна работа** на няколко апарата (каскадно, или многостепенно почистване), която схема се използва за по-пълно обезпрашаване на въздуха, сумарната ефективност на почистване се определя съгласно формулата:

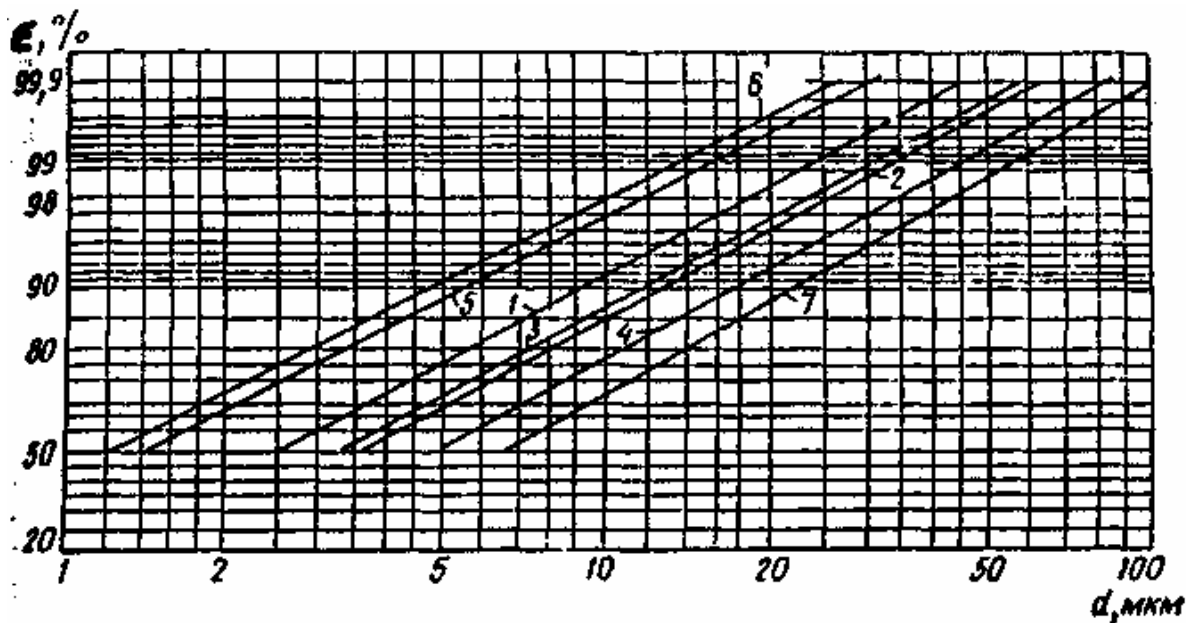
$$\varepsilon = [1 - (1 - \varepsilon_1) \cdot (1 - \varepsilon_2) \dots (1 - \varepsilon_n)] 100\%,$$

където $\varepsilon_1, \varepsilon_2 \dots \varepsilon_n$ — е ефективността на почистване на всеки апарат, включен в каскадното свързване (в части от единицата).

Ефективността на почистване е важна характеристика на апарата. Чрез нея се прави ориентиране при избора на метода на почистване и прахоулавящо оборудване в съответствие с **допустимото остатъчно съдържание на прах** в очистения газ.

Например:

Фракционната ефективност на циклоните тип ЦН-11, ЦН-15 и коничните циклони е представена на фиг. 5.1.



Фиг. 5.1. Фракционната ефективност на циклоните ЦН НИИОГаз:

1 - ЦН-11; 1 - ЦН-15; 3 - ЦН-15у; 4 - ЦН-24; 5 - СДК-ЦН-33; 6 - СК-ЦН-34.

Циклоните с по-големи размери имат по-лоши показатели на почистване и затова често за постигане на необходимата пропускателна способност се комбинират групи от **циклони с малък диаметър**.

Комбинирането може да се изпълни в правоъгълен или кръгов начин. Групата циклони обикновено имат общи въвеждащи и отвеждащи колектори, обединен прахосборник. Бункерите са в групи по 4 циклона могат да се изпълнят в кръгла или правоъгълна форма, а повече от 4 само в правоъгълна. Групата се препоръчва да се комбинира от **четно число** циклони. Общото количество в групата може да бъде доведено до 16, при по-голямо количество циклони практически е невъзможно организирането на равномерно разпределение на газа във всички апарати, не би могло да се определи режима на работа и съществено е снижена степента на почистване.

5.2. Производителността характеризира количеството въздух, което се очисти за 1 час. Апаратите, при които въздухът се очисти при преминаване през филтриращ слой, се характеризират със специфично въздушно натоварване,

т. е. количеството въздух, което преминава през 1 м^2 филтрираща повърхност за 1 час.

5.3. **Хидравличното съпротивление** има важно значение, тъй като от неговата стойност зависи **исканото налягане на вентилатора**, а следователно и разход на електроенергия. Хидравличното съпротивление на апарата може да се определи ориентировъчно по формулата:

$$H = A \cdot v^n$$

където v – *скорост на движение на въздуха през апарата*, m/s; A , n — са коефициенти, определящи се по експериментален път и зависят от конструкцията на апарата.

По-точно определяне на хидравличното съпротивление ще бъде посочено за всеки конкретен вид конструкция прахоуловител. Използва се методиката, изучавана в дисциплината Процеси и апарати.

5.4. **Расход на енергия – енергоемкост** - зависи в значителна степен от хидравличното съпротивление на апарата.

При използване на **електрофилтри**, електроенергията се изразходва основно за създаване на електростатично поле.

Разходът на енергия при едностепенно почистване на праха се намира в пределите от 0,035 до 1,0 кВтч на 1000 м^3 въздух.

Специфичните загуби на енергия за отделяне на дисперсните примеси **нарастват пропорционално на намаляване** на концентрацията на праховите частици, докато степента на почистване в прахоуловителните апарати практически не зависи от началната концентрация на замърсителя. В допълнение към това - **загубите нарастват с намаляване на размерите** на частиците.

В последните години в качество на един от показателите за работа на апаратите за почистване на въздуха се използват **енергетичните загуби**, изразходвани при конкретен процес на различните методи за обезпрашаване.

В качеството на показател на **енергиен баланс** по аналогия с коефициент на полезно действие се използва така наречения **енергетичен КПД, съгласно израза:**

$$\epsilon^{\text{к}} = \frac{E_n}{E_s}$$

където - E_n — полезно използваната енергия; E_s — цялата загубена енергия в процеса на обезпрашаване.

Енергетичният коефициент не отчита термодинамичните загуби, свързани например с неизобарността на реалните термодинамични процеси, които съпътстват процеса на обезпрашаване.

Ето защо оценката по този критерии не трябва да се счита винаги обоснована. Този подход е точен само при обратими термодинамични процеси.

5.5. **Цената на почистването** се явява важен показател, тк характеризира **икономичността** на почистването.

Цената зависи от много фактори: капиталните разходи за инвестиция за оборудване, експлоатационни разходи и др.

Цената на почистване на въздуха е различна за различните апарати.

Като правило, по-ефективното почистване се постига на по-висока цена. Ако цената за почистване на определено количество въздух в такъв прост апарат като циклона с голяма производителност се приеме за 100%, то цената на почистването на същото количество в батериен циклон представлява 120 %, в циклон с водна пелена - 130 %, в скрубър - 140 %, в електрофилтър - 220 %, в тъканни филтри (в зависимост от типа) от 260 до 280%. Двустепенното почистване по схемата батериен циклон - електрофилтър струва 330 % .

ОПРЕДЕЛЯНЕ ДИСПЕРСНОСТ НА АЕРОЗОЛИ И РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРИТЕ НА ЧАСТИЦИТЕ

Промишлените аерозоли в повечето случаи имат **полидисперсен характер**. Установено е, че характерът на законите, управляващи някои важни

свойства на аерозолите зависи от размера на частиците. Ето защо много често се налага да се знае как е разпределено огромното множество от частици на една полидисперсна система по техните размери. Съвременните методи на изследване позволяват експериментално да се установят критериите, отразяващи разпределението на размера на частиците с големина на радиуса $r \geq 0,001 \mu\text{m}$. Това дава възможност да се определи дисперсният състав на праха (процентното съдържание на частиците от всеки размер) и степента на дисперсност.

При обработка на резултатите от експериментално измерване на частиците с цел представянето им в емпирически уравнения, отразяващи разпределението на техните размери и при решаване на технически задачи за определяне **степента на ефективност** на прахоуловителни апарати и филтри, удобни за приложение се явяват **интегралните криви на разпределение**. Те дават възможност да се определи каква част от частиците (по брой или тегло) имат радиус по-голям или по-малък от предварително зададена стойност на r . Чрез интегриране на функцията $\varphi(r)$ в интервалите $(r \div \infty)$ и $(0 \div r)$ за бройното разпределение се получават функциите на разпределение

$$(5.2) \quad N_1(r) = \int_r^{\infty} \varphi(r) dr; \quad N_2(r) = \int_0^r \varphi(r) dr,$$

а за тегловното разпределение

$$(5.3) \quad R(r) = \int_r^{\infty} g(r) dr; \quad D(r) = \int_0^r g(r) dr.$$

Функцията $R(r)$ се използва много често при изследване на различни промишлени прахове (аерозоли) и се **нарича функция на "остатъка"**, тъй като тя се определя по теглото на праха, останал върху ситото с даден номер. Функцията на разпределение $D(r)$ се нарича крива на **"преминалото"** през съответното сито.

От (5.2) и (5.3) се вижда, че е в сила равенството

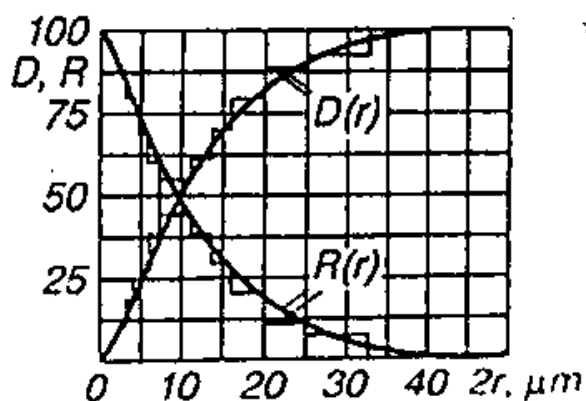
$$N_1(r) + N_2(r) = R(r) + D(r) = 1$$

При ситов анализ на прахова статистическа извадка функциите $R(r)$ и $D(r)$ се представят във вид на **графически функции или криви на разпределение**. Чрез използване на формулите

$$(5.4) \quad R(r) = \frac{\sum_{r > r_c}^{r_{\max}} m_r}{M} 100\%$$

$$(5.5) \quad D(r) = \frac{\sum_{0}^{r < r_c} m_r}{M} 100\%$$

където r_c е радиусът на отворите на съответното сито; M - обща маса на статистическата извадка от прах се получават степенчати или дискретни функции на разпределение (фиг. 5.2)



Фиг. 5.2

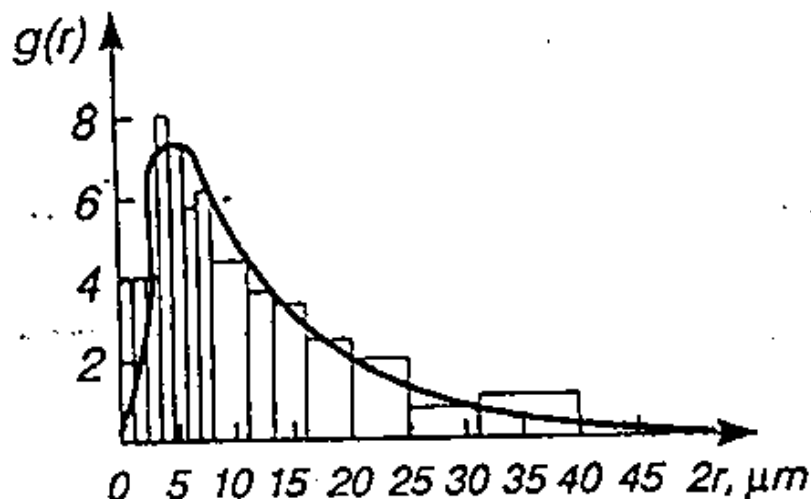
Предвид на това, че разликата между големината на частици със съседни размери в една полидисперсна система е много малка и статистическата извадка е недостатъчно представителна, може да се приеме, че r е непрекъсната величина. Това дава основание дискретните функции на разпределение, **наречени още хистограми**, да бъдат загладени и представени с непрекъснати плавни криви (вж фиг. 5.2). Характерно в случая е, че кривите се пресичат при $D(r)=R(r)=50\%$.

Следователно съществува функцията $g(r)$, която може да се получи от

$$(5.6) \quad \frac{d[D(r)]}{dr} = g(r)$$

където $g(r)$ се нарича плътност на разпределение, диференциална крива на разпределение или крива на тегловно разпределение на частиците в зададен интервал на размерите.

Функцията $g(r)$ (фиг. 5.3) може да бъде получена чрез графическо диференциране по r на интегралната крива на разпределение $D(r)$, представена на фиг. 5.2.



Фиг. 5.3

Когато е известна графиката на бройното разпределение $\varphi(r)$ (фиг. 5.4), може да се получи графиката на диференциалната крива на тегловното разпределение $g(r)$, като за целта абсцисната ос се раздели на достатъчно тесни интервали Δr и за всеки интервал се пресметне средната стойност на масата на частицата

$$(5.7) \quad \bar{m} = \frac{4}{3} \pi \bar{r}^3 \rho$$

по средния радиус $\bar{r}$ в съответния интервал Δr . Масата на дисперсната фаза в същия интервал се определя по формулата

$$(5.8) \quad m = \bar{m} \varphi(r) \Delta r$$

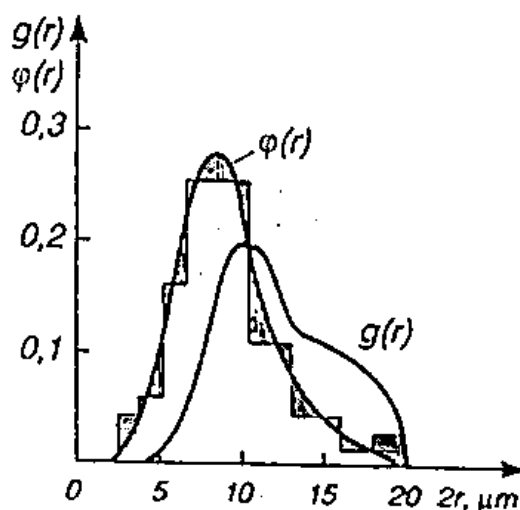
а средно аритметичната маса на цялата статистическа извадка по

$$(5.9) \quad m_{cp} = \int_0^{\infty} \bar{m} \varphi(r) dr$$

След това по зависимостта

$$(5.10) \quad g(r) = \frac{m}{m_{cp}} \varphi(r)$$

се построява графиката на диференциалната функция на тегловното разпределение, представена на фиг. 5.4.



Фиг. 5.4

При построяване на хистограмите, диапазоните на отделните **фракции най-често се приемат различни**. С цел получаване на по-пълноценни характеристики на праха, размерът на диапазоните на фракциите следва да се увеличава с нарастване на размера на частиците. Поради същите съображения често пъти се използва логаритмичен мащаб на абсцисната ос. Независимо от това, обаче не винаги е възможно достатъчно нагледно да се изобрази разпределението (интегрално и диференциално) на размера на частиците посредством кривите на разпределение.

Напоследък се забелязва тенденция към представянето на кривите на разпределение чрез емпирични формули. Тези формули са толкова по-добри, колкото е по-малък броят на техните коефициенти и колкото е по-голям броят на аеродисперсните системи, към които дадена формула може да бъде приложена само чрез промяна стойностите на коефициентите. Като най-добри се считат формулите с два коефициента - единият, характеризиращ степента **на полидисперсност, а другият - средният размер на частиците**. Формули, отразяващи различни функции на разпределение на частиците в аерозоли, получени чрез механическо трошене, смилане и разпиляване на твърди, тела, са приведени от Фукс и Коузов. Някои от тях ще бъдат представени тук. Такава е формулата на Розин и Рамлер, която има вида

$$(5.11) \quad R = \exp(-br^n),$$

където R е остатъкът върху сито с размери на отворите r ; b - константа, характеризираща размера на частицата; n - характеризира степента на полидисперсност.

След двойно логаритмуване на горната формула се получава изразът

$$(5.12) \quad \lg\left(\lg\frac{1}{R}\right) = n \lg r + C,$$

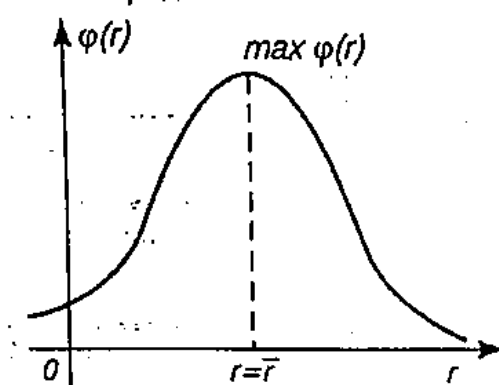
където $C = \lg b + \lg lge$

Зависимостта (5.12), изобразена в двойно логаритмична координатна мрежа с координати $\lg(\lg \frac{1}{R})$, $\lg r$ представлява права линия с наклон n .

Представянето на уравнение (5.11) във вида (5.12), при който разпределението на r се изразява с права линия, улеснява много определянето на коефициентите в такива емпирични зависимости. Уравнение (5.11) първоначално е ползвано за пулверизирани въглища, а по-късно е било установено приложението му за фини земни и рудни материали.

При някои аерозоли, особено такива, получени от спорите на растения, диференциалните криви на разпределение имат твърде симетрична форма, близка до тази на Гаусовото нормално разпределение (фиг. 5.5)

$$(5.13) \quad \varphi(r) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(r-\bar{r})^2}{2\sigma^2}\right],$$



Фиг. 5.5

където σ е средно квадратичното или стандартното отклонение и показва разсейването на случайната величина r около нейната средна стойност. С нарастването на σ намалява $\max \varphi(r)$, σ^2 - дисперсия на r , $\bar{r}$ - средна стойност на r ,

най-често срещаният радиус, при който плътността добива най-голямата си стойност.

Определянето на $\bar{r}$ става по формулата

$$(5.14) \quad \bar{r} = \int_0^{\infty} r \phi(r) dr,$$

а за дискретна случайна величина при определянето на $\bar{r}$ чрез експеримент се получава изразът

$$(5.15) \quad \bar{r} = \frac{\sum n_i r_i}{N}$$

където r_i е размерът на i -тия радиус на частицата; n_i - брой на срещащите се частици с размер r_i ; N - общ брой на частиците.

Като се използва уравнение (5.13) може да представи интегралната функция на нормалното бройно разпределение (фиг. 5.6) с уравнението

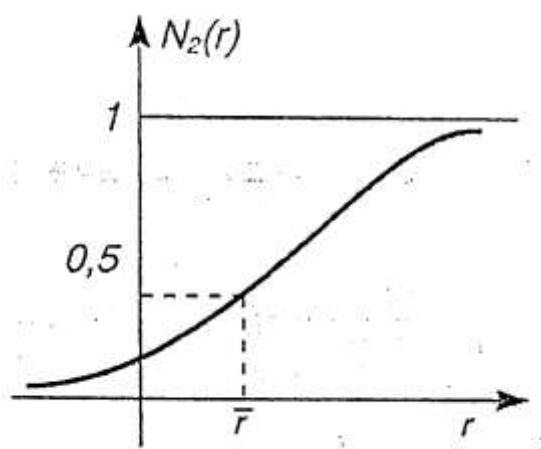
$$(5.16) \quad N_2(r) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^r e^{-\frac{(r-\bar{r})^2}{2\sigma^2}} dr$$

След полагане на

$$(5.17) \quad t = (r - \bar{r})/\sigma$$

и диференциране по r , от (5.16) следва

$$(5.18) \quad N_2(r) = F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\bar{r}/\sigma}^{(r-\bar{r})/\sigma} e^{-t^2/2} dt$$



Фиг. 5.6

Интегралната функция на разпределение $F(t)$ се нарича **функция на Лаплас**, а подинтегралната функция в (5.18)

$$(5.19) \quad \varphi\left(\frac{r-\bar{r}}{\sigma}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2},$$

представлява **плътността на нормалното разпределение** с нулево математическо очакване ($\bar{r} = 0$), т.е. чрез полагането (5.17) е извършено транслиране на началото на координатната система в т. $\bar{r}$.

Ако се разшири долната граница на интеграла ($-\bar{r}/\sigma \approx -\infty$), то от (5.18) следва

$$(5.20) \quad F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{t_1} e^{-t^2/2} dt = F(0) + F_0(t),$$

където:

$$(5.21) \quad F(0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 e^{-t^2/2} dt$$

$$(5.22) \quad F_0(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_1} e^{-t^2/2} dt$$

Видът на $F(t)$ е показан на фиг. (5.7). От същата фигура се вижда, че

$$(5.23) \quad F(-t) = 1 - F(t)$$

Пресмятането на $F(0)$ по (5.21) води до стойността 1/2. Следователно от (5.20) и (5.22) следва, че

$$(5.24) \quad F_0(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_1} e^{-t^2/2} dt = F(t) - \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{t}{\sqrt{2}}\right),$$

където:

$$(5.25) \quad \operatorname{erf}\left(\frac{r-\bar{r}}{\sigma\sqrt{2}}\right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{r-\bar{r}}{\sigma\sqrt{2}}} e^{-(r-\bar{r})/\sigma\sqrt{2}} d\left(\frac{r-\bar{r}}{\sigma\sqrt{2}}\right)$$

се нарича функция на грешката или функция на Крамп.

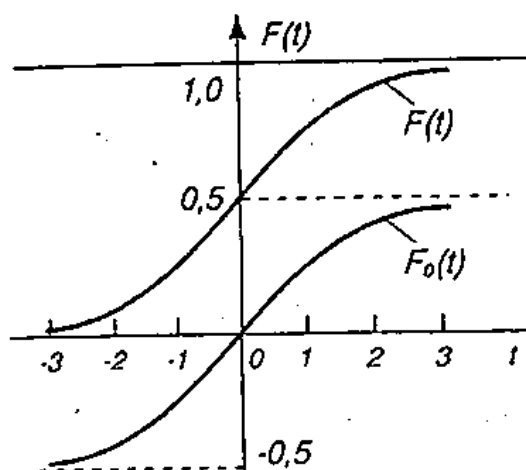
Видът на $F_0(t)$ е показан на фиг. 5.7. Вижда се, че тя е нечетна, т.е.

$$(5.26) \quad F_0(-t) = -F_0(t)$$

От уравнение (5.24) следва зависимостта

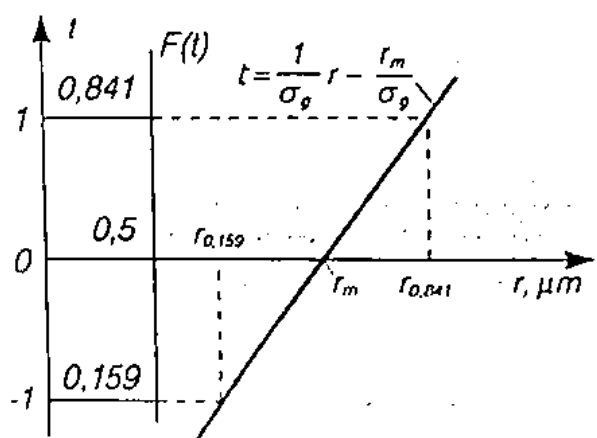
$$(5.27) \quad F(t) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{t}{\sqrt{2}}\right) \right]$$

която е друг запис на уравнение (5.20).



Фиг. 5.7

Ако в произволен мащаб се нанесе t на ординатата и за съответните стойности на t пак върху ординатата (фиг. 5.8) се нанесат стойностите на $F(t)$ (уравнение 5.27), а по абсцисната ос радиусът на частиците се получава вероятностна координатна система.



Фиг. 5.8

В тази координатна система може да се построи интегралната крива на нормално бройно разпределение по уравнение (5.16). Същата координатна система се използва, когато е налице нормален закон на тегловно разпределение

$$F(t) = D\left(\frac{r - r_m}{\sigma_g}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-t^2/2} dt,$$

където:

$$(5.28) \quad t = r/\sigma_g - r_m/\sigma_g$$

е права линия, пресичаща абсцисната ос в точка $r=r_m$. В този случай r_m се нарича **теглови медианен радиус** и се определя от условието $D(r_m)=R(r_m)$, а σ_g е тегловното стандартно отклонение. В (5.28) $tga=1/\sigma_g$ е ъгловият коефициент на правата, а α е ъгълът между правата и положителната посока на абсцисната ос.

Тъй като интегралите в (5.20) и (5.25) са нерешими чрез елементарни функции, то те се пресмятат най-често числено, след което се табулира функцията $F(t)$ при вариране на t . При това е установено, че при $t=0$ $F(t)=0,5$, а при $t=1$ $F(t)=0,841$ и при $t=-1$ $F(t)=0,159$, които са нанесени на фиг. 5.8. Следователно ако в (5.28) се постави $t=+1$, за средно квадратичното отклонение се получава

$$(5.29) \quad \sigma_g = r_{0,841} - r_m$$

а ако $t=-1$, следва

$$(5.30) \quad \sigma_g = r_m - r_{0,159}$$

С нарастване на σ_g , нараства степента на полидисперсност и обратно - при $\sigma_g = 0$ дисперсната фаза има монодисперсен характер.

От експерименталните изследвания е установено, че повечето от кондензационните и дисперсни аерозоли имат несиметрични криви на разпределение с по-стръмен наклон от страната на малките стойности на r , когато на абсцисата се нанасят линейните размери на частиците. С оглед получаване на по-симетрична крива на разпределение, близка до тази на Гаус, често пъти **върху абсцисната ос се нанася $\lg r$** . Такова разпределение се нарича **логаритмически нормално** и се изразява с формулата

$$(5.31) \quad \varphi(\lg r) = \frac{1}{\lg \sigma_g \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\lg r - \lg r_m)^2}{2(\lg \sigma_g)^2} \right].$$

Интегралната функция на логаритмично нормалното разпределение на масата на материала по радиуса на частиците се дава от израза

$$(5.32) \quad D(\lg r) = \frac{1}{\lg \sigma_g \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\lg r} e^{-\frac{(\lg r - \lg r_m)^2}{2(\lg \sigma_g)^2}} d(\lg r)$$

където $\lg \sigma_g$ е средно квадратичното отклонение на $\lg r$ от $\lg r_m$; r_m - теглови медианен радиус.

Ако в подинтегралната функция се положи

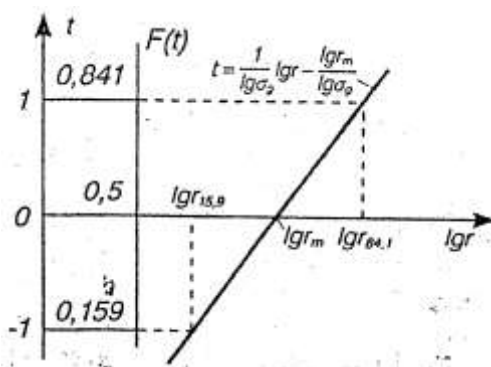
$$(5.33) \quad t = (\lg r - \lg r_m) / \lg \sigma_g$$

то от уравнение (5.32) се получава отново (5.20)

$$(5.34) \quad F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-t^2/2} dt.$$

В горното уравнение правата представена с уравнение (5.33) пресича абсцисната ос в точка $\lg r = \lg r_m$ (фиг. 5.9).

Ако в (5.33) се постави $t = \pm 1$, то за σ_g се получава

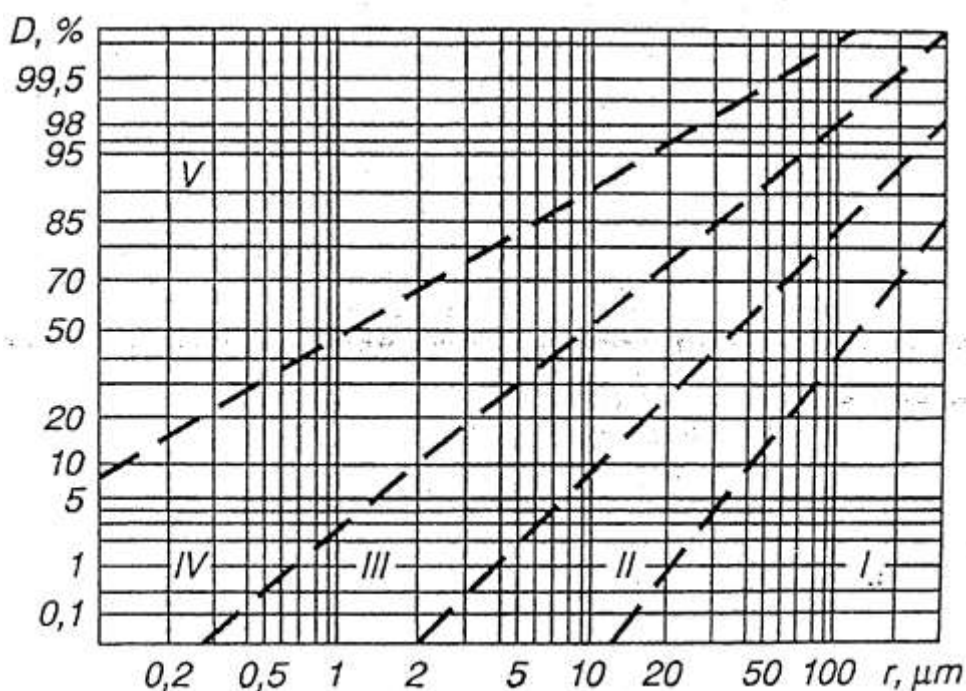


Фиг. 5.9

$$(5.35) \quad \lg \sigma_g = \lg \frac{r_m}{r_{15,9}} = \lg \frac{r_{84,1}}{r_m}$$

или

$$(5.36) \quad \sigma_g = \frac{r_m}{r_{15,9}} = \frac{r_{84,1}}{r_m}$$



Фиг. 5.10

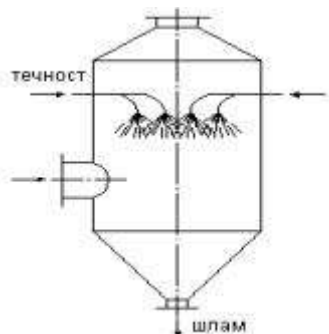
Често пъти в практиката разпределението на размера на частиците на конкретен прах, подлежащ на улавяне се представя във **вероятностно-логаритмична класификационна номограма**, представена на фиг. 5.10. В тази номограма дисперсността на всички **прахове е класифицирана в пет групи**. Построяването на кривата на разпределение на даден прах в тази номограма дава информация за принадлежността му към дадена група, а това помага за правилен подбор на прахозадържащ апарат.

6. ИЗПОЛЗВАНЕ НА МЕТОД НА ОМОКРЯНЕ - МОКРИ ПРАХОУЛОВИТЕЛИ

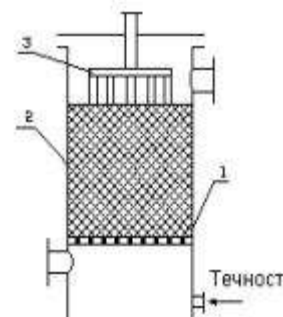
Работят на **принципа** чрез омокряне на частиците, които са във въздуха, с вода, което спомага за отделянето им от газовия поток под действието на **тежестта, масата на частиците, инерционна или центробежна сила**.

Най-често прахът се отделя с промиващата течност във вид на разтвор, наречен **шлам**. Основните видове прахоуловители от тази група които реализират този метод са:

6.1.- Оросителни устройства – Замърсените газове се подават през завеса от водна пелена или във вид на водни капчици. Използва се също и водна завеса стичаща се по тръби. (фиг.6.1)



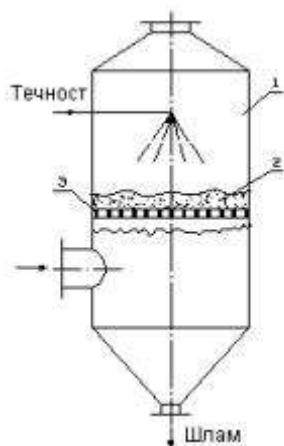
Фиг.6.1. Оросително устройство



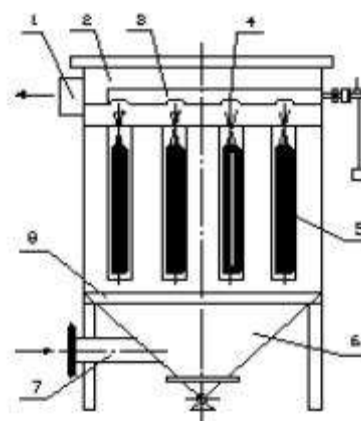
Фиг.6.2. Скрубер

6.2.- Скрубери - Това са промивни кули (1), обикновено с пълнеж от рашингови пръстени (2), с оросителни устройства (3) в горната част (фиг.6.2.)

6.3.- Пенни апарати - Отработените газове се пропускат в камера (1) през течен слой създаван от разпръскватели (2) със скорост 5-12 m/s, при което върху решетката (3) се **образува слой от пена**, в който газът и течността интензивно се размесват (фиг.6.3). Така се получава охлаждане и пречистване на газа от прах и газообразни вещества.



Фиг.6.3. Пенни апарати



Фиг.8 Ръкавен филтър

6.4.- **Апарати с пулверизация** - Водата се пулверизира чрез инжектиране в стеснената част на секцията. Скоростта на газа се увеличава, пулверизираната вода се разпръсква на фини капчици, които имат първоначално относително по-малка скорост от тази на частиците и повишават ефективността на задържането им. Комбинират се обикновено с циклони.

в) Прахоуловители с порест слой

Отработеният газ преминава през порест слой съставен от подходящо профилирани материали с минерален произход (кокс, пясък, чакъл), от рашигови пръстени от метал или пластмаса, от влакна, от хартия, филц или тъкани.

в) Филтриращи прахоуловители

Пречистването чрез филтрация има редица предимства – възможност за задържане на частици с малки размери (под $1 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$), малка зависимост на улавяне от физико-химичните свойства на праха и др. Недостатъците им са високият разход на енергия, невъзможността да се пречистват газове с висока влажност и др. Като филтриращи материали се използват вълнени, памучни тъкани и синтетични тъкани, силиконови влакна и др. Широко се използва т.н. тъканни ръкавни филтри с импулсно продухване (фиг.8).

3.3.3.Очистване на газовете от течни аерозоли

За почистване на газовете от аерозоли на киселини, основи, масла и други течности се използват **влакнести филтри**. Същите се разделят на две групи:

- **Нискоскоростни** ($V < 0,15 \text{ m/s}$), при които преобладава ефекта на дифузно отлагане на капките

Високоскоростни ($V = 2 - 2,5 \text{ m/s}$), където ефектът се получава от инерционните сили. На фиг. 10 е показан високо скоростен уловител с цилиндричен филтриращ елемент (3) от влакна (2). Около филтъра е разположен слой от перфорирани плоски или гофрирани пластмасови ленти (1) за задържане на пръските от течността.

7. ФИЗИЧЕСКИ ОСНОВИ НА МЕТОДА НА ОЧИСТВАНЕ - ФИЛТРИРАНЕ

Идеално обтичане на влакна –

системата от влакна е сведена до единично обтичане. Може да се направи, защото **разстоянията между влакната са големи с порядък** в сравнение с размера на частиците, които преминават между тях. При тази постановка може да се пренебрегне хидродинамичното взаимодействие между влакната.

Методът на улавяне се основава на **траекторията** на частицата около изолиран цилиндър, лежащ напречно на течението.

Приема се:

- диаметърът на влакната да е еднакъв
- разстоянията между тях са еднакви
- лежат напречно на течението
- частиците са сферични
- частиците остават върху цилиндъра благодарение на силите на Ван дер Валс - адхезия.
- Пренебрегва се гравитационния ефект за частици по-малки от 1-2 мкм.

При реален случай:

- Не всички влакна лежат напречно на течението
- Невсички са с еднакъв диаметър и кръгло напречно сечение
- При скорост по-голяма от 0.35 м/с, частици с диаметър 5 мкм придобиват висока кинетична енергия и могат да се промъкнат през филтъра с груба структура.

Основните механизми на улавяне са:

- 1. Инерционен механизъм** – той се проявява при обтичане на препятствие от праволинеен поток, при което токовите линии на потока около препятствието се деформират. Частицата 1 се откъсва от токовата линия и се движи по траектория, която е допирателна към цилиндъра и се удря в него. Приема се, че щом частицата се удари в цилиндъра тя залепва за

него. Частицата 2 се движи по траектория, която минава на разстояние от цилиндъра равно на нейния радиус. Частицата 2 участва в инерционно движение, но се улавя за сметка на зацепване с цилиндъра, а не на сблъсъка с него, като по този начин илюстрира комбиниран ефект на улавяне от инерция и зацепване.



Фиг- 7.1. Описание на механизмите на филтриране

2. Механизъм на улавяне чрез зацепване – пример е частица 3 – в този случай, когато центърът на частицата с радиус r се движи по токовата линия, която минава от повърхността на препятствието на разстояние r , улавянето става за сметка на зацепване /докосване/ на частицата с преградата. Ефектът на зацепване има забележително влияние при утаяване върху много фини влакна, когато размерът на частиците е съизмерим с размера на препятствието, както това е при високоефективни влакнести филтри.

3. Дифузионен механизъм на улавяне – докато улавянето чрез гравитация е значителен фактор при големи частици в бавно движещи се аерозолни потоци, то частици с размер по-малък от 1 мкм, благодарение на **брауновото движение**, могат да се отклонят напречно на токовите линии и да докоснат преградата – частица 4. Колкото е по-малка частицата и по-дълго времето на преминаване през филтъра, толкова е по-голяма вероятността тя да докосне препятствието. Този механизъм на филтрация е важен фактор в общата ефективност на високоефективните влакнести филтри, работещи при газови скорости по-малки от няколко см/с.

Изследвано е влиянието на отделните механизми на улавяне върху коефициента на пропускане на частиците - K - през влакнести филтри.

1. Скоростта на филтрация не влияе върху **механизма на зацепване** – хоризонталната линия - б-.
2. **Инерционният механизъм** има област на действие след достигане на скорост V_0 – наклонената права – а-. При достигане на скорост V_m преминаването на частиците през филтъра спада до нула, т.е. всички частици с една и съща маса и размери ще бъдат уловени чрез този механизъм.
3. **Дифузионният механизъм** – наклонената права – в- .

Сумарният коефициент на пропускане е представен с кривата – г-



Фиг. 7.2. Влияние на механизмите на улавяне

Изводи:

1. При *нарастване на радиуса* на частиците при равни други условия, линията на зацепване – **б**- **пада надолу** – нараства влиянието на механизма на зацепване.
2. При *нарастване на радиуса* на частиците, линията на инерционния **механизъм** – **а**- се мести наляво при равни други условия, т.е повиша се ефектът на инерционния механизъм.
3. С *нарастване на радиуса* на частиците линията на дифузионния механизъм се мести наляво – пропускането през филтъра нараства или намаля ефекта от дифузионното улавяне.

Токовите линии около обтеченото тяло зависят от числото на Рейнолдс.

Режимите на обтичане:

- Ламинарен
- Преходен
- Турбулентен

Дебелината на граничния слой намаля с увеличаване на числото на Рейнолдс и токовите линии силно се огъват около обтеченото тяло..

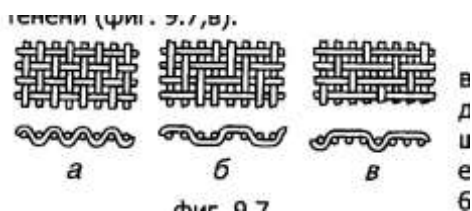
ФИЛТЪРНИ МАТЕРИАЛИ

Естествени влакна – памук, азбест, вълна

Синтетични – ниска влагопоглъщаемост, устойчиви на микроорганизми. От найлон се формират фини влакна за високоефективен филтърен материал. Кварцови влакна - материал - пресован – до 700⁰ и високо налягане.

Тъкани и нетъкани филтърни материали

- Гладки- а
- Диагонални -б
- Сатенени - в



Фиг. 7.3. Тъкани филтърни материали

Влакната намиращи се вътре в усуканите конци не участват в процеса на прахоулавяне. Образуват се мостове от пращинки, и като резултат от работата се получава непрекъснат **прахов слой – утайка- втори**чен слой филтър.

Необходима е регенерация- премахване на задържаните слоеве прах.

Съпротивлението на филтърния слой нараства със увеличаване на скоростта на газовия поток и с промяна на порьозността на филтъра по време на експлоатация.

8. МЕТОД ЗА ОЧИСТВАНЕ НА ВЪЗДУХА ЧРЕЗ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИ СИЛИ - ЕЛЕКТРОФИЛТРИРАНЕ

Електроочистване на газ – твърдите частици се отделят от газообразната среда под въздействие на електростатични сили. От положителен и отрицателен електрод се създава ел. поле, в резултат става зареждане на праховите частици от преминаващия през полето прахо-газов поток. Заредените частици се придвижват към утаителния електрод и остават на неговата повърхност. Слой прах, който се образува върху утаителния електрод се отстранява чрез стръскване или друг начин.

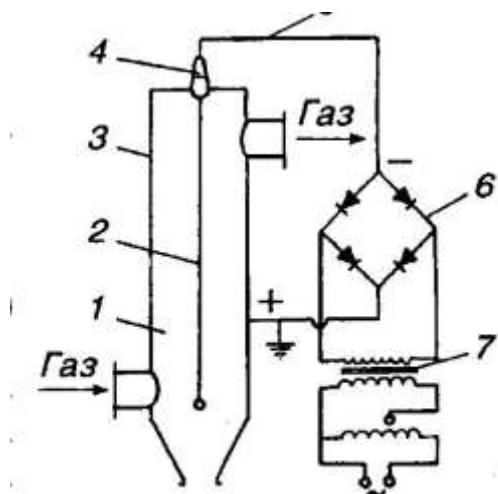
Приложение – след изгаряне на продукти, горивни процеси, отпадни и димни газове, пещи за изгаряне на продукти.

Характеристики на метода

- ниско налягане – 100 – 1000 Pa
- Голям дебит – 10^5 – 10^6 м³/час
- Ниски енергийни разходи – 0.1 – 0.8 квтч/1000 м³
- висока ефективност на почистване при малък диаметър на частиците – 99%

Методът работи на суха и мокра схема. За мокрия метод е необходимо изграждане на допълнителна инсталация за подаване и отвеждане на вода.

Принципна схема на тръбен тип електрофилтър



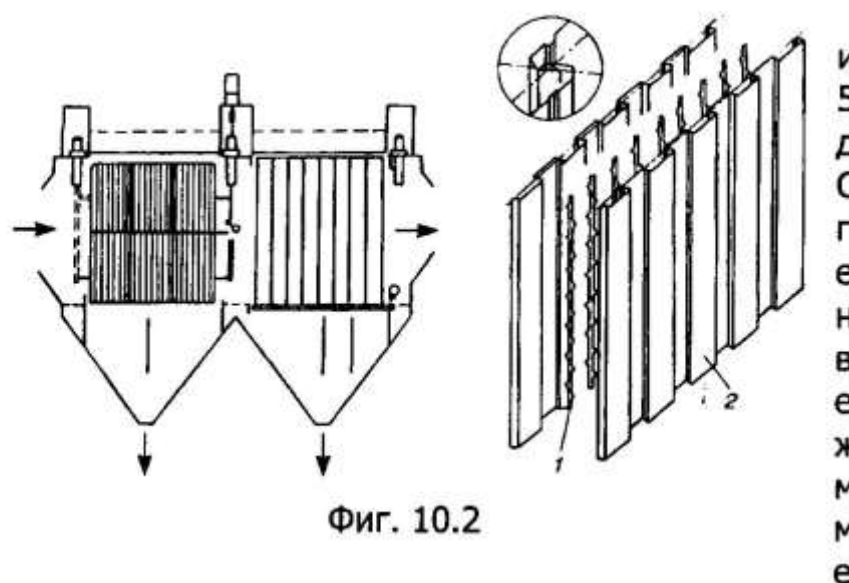
Фиг. 10 1

Фиг. 7.4 Електрофилтър – с жичен отрицателен и тръбен положителен електрод - 1-прахов пласт, 2-жичен отрицателен-корониращ- електрод, 3-утаителен електрод, 4 – изолатор, 5- високоволтов проводник, 6 – изправител, 7 – трансформатор – правотоково напрежение от 20 до 80 kV.

Етапи

- Създаване на ел. поле
- Създаване на ел. заряди
- Зареждане на праховите частици
- Придвижване на праховите частици до утаителния електрод.
- Събиране на праха в бункера.разтоварване на бункера

Пластинчат електрофилтър



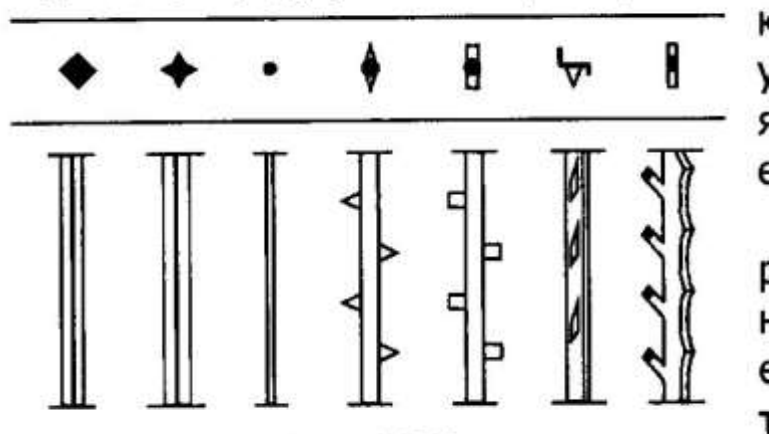
Фиг. 10.2

Фиг. 7.5. Пластинчат електрофилтър – 1- жичен корониращ електрод, 2- утаителен електрод

Газовият поток се движи нормално на корониращите електроди. Те се изработват с различна форма - фиг. 7.6

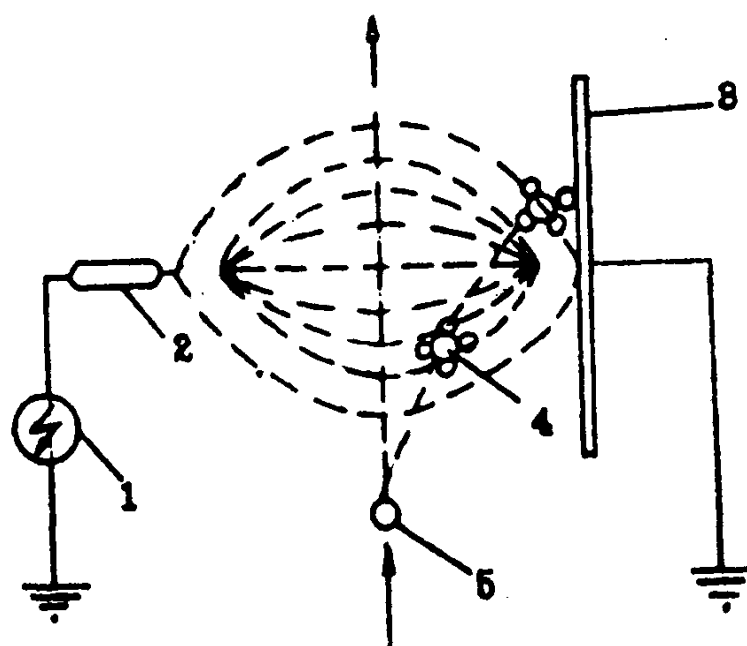
Приложение – при хоризонтално движение на газовия поток.

където R_1 е радиусът на корониращия е

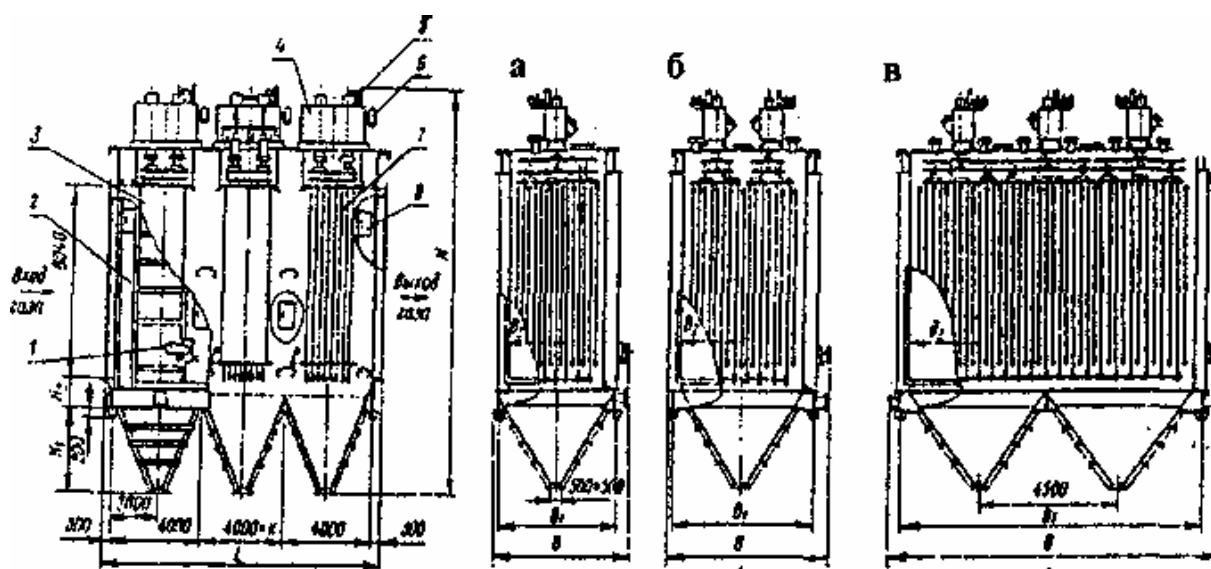


Фиг. 10.3

Фиг. 7.6. Форма на корониращите електроди



Фиг. 7.7. Процес на създаване и пренасяне на ел. заряди, зареждане на праховите частици



Фиг. 7.8. Конструкции на електрофилтри

Миграционна скорост – във всяка точка на траекторията на частицата миграционната скорост е насочена нормално към утаителния електрод. Тази скорост е характерна за даден прах с определени качества. Тя е параметър на процеса на електрофилтриране.

Фактори от които зависи миграционната скорост:

- Качества на ел. полето.
- Прахово специфично електрическо съпротивление
- Качества на праховите частици
- Качества на газовия поток
- Качества на конструкцията.

Таблица 10.1
Приблизителни данни за миграционната скорост

Вид прах	V_m cm/s
Цинков окис	2 - 3
Мъгла от H_2SO_4	8 - 16
Метални окиси от пържилни пещи	2 - 3
Калциев карбонат	4 - 5
Алуминиев хлорид	5 - 6
Оловен окис от пещи	8 - 9
Газове от пещи за кафяви, черни и антрацитни въглища	2 - 11
Газове от пещи за лигнитни въглища	18 - 25
Конверторен прах	7 - 9
Прахов от пълмъчни пещи	5

8. АБСОРБЦИОННИ МЕТОДИ НА ПРЕЧИСТВАНЕ НА ВЪЗДУХА

Основното използването на **абсорционните и адсорбционни методи** е за почистване на изходящи газове от **газообразни и парообразни замърсители**.

Отделянето на **газообразните замърсители** от **газообразни емисии** се основава на общите принципи на тяхната **дифузия** в обем или върху повърхността на поглъщател. Молекулите на замърсяващите вещества могат да се **абсорбират** от течната повърхност физически или да взаимодействат с **абсорбенти** и да се задържат.

Абсорбционните методи се изразяват в избирателно поглъщане на газови или парообразни емисии от **течни поглъщатели**. Основният газов поток се разглежда като газ-носител. Отделянето на замърсяващият газ от отработения поглъщател е част от последващите операции от метода.

Абсорбцията може да бъде:

Физична – налице е разтваряне на замърсителя в поглъщателя

Химична – разтварящият се газ реагира непосредствено със самия абсорбент.

Когато концентрацията на замърсителя в газа носител е малка, а температурата и налягането са далеч от критичните стойности, равновесието в системата газ-течност се определя от известните закони на Хенри:

$$P_i = H_i x_i ,$$

Където:

P_i - парциалното налягане на компонента в газа при равновесие.

H е константата на Хенри – расте с повишаване на температурата.

x_i - молната част на компонента в течността.

При физичната абсорбция са в сила **основните закони на масопренасяне** в близост с границата на фазите.

Абсорбционните методи за пречистване на газове могат да се класифицират по различни признаци:

- По вид на компонента, който се абсорбира.
- По типа на абсорбента
- По характера на процеса – с циркулация или без циркулация
- По организация на процеса – периодичен или непрекъснат процес
- По използване на абсорбента – с регенерация и връщане в цикъла – циклични – и без регенерация - нециклични.
- По конструктивен тип апаратура.

За физическа абсорбция на практика се **използват вода и органични разтворители**.

При хемосорбцията се използват водни разтвори на соли, киселини, основи,, органични вещества и водни суспензии на различни вещества.

Изборът на метода зависи от следните фактори:

- Концентрацията на извлекания компонент
- Обем и температура на замърсените газове
- Възможности за използване на продуктите на рекуперация
- Степен на почистване

Методът на абсорбционно почистване е свързан с осъществяване на висока скорост на процес, за да се осъществи контакт на газовия поток и течността. Използват се различни абсорбери, които по принцип на действие може да се разделят по следния начин:

- Противотокови – например колони с пълнеж, барботажни, разпръсквателни, ротационни.
- Правотокови – струйни, абсорбери на Вентури.

Тук могат да се отнесат всички **мокри прахоуловители**.

9. АДСОРБЦИОННИ МЕТОДИ ЗА ОЧИСТВАНЕ НА ВЪЗДУХА

Приложение при следните случаи:

- Замърсителят е с ниски концентрации
- Замърсителите не могат да бъдат изгорени
- Необходима е рекулперация на замърсителя поради неговата ценност.

Адсорбцията е процес на разделяне, основан на способността на **твърди вещества** избирателно да улавят пари и газове от основния газов поток.

Адсорбируемите вещества се наричат **адсорбтив**, когато са в газова фаза или **адсорбат**, когато са задържани от твърдата фаза. Твърдото адсорбиращо вещество се нарича **адсорбент**.

Адсорбцията може да бъде:

Физична

Химична

Адсорбентите са порести материали със силно развита вътрешна повърхност от порите. Сумарният обем на порите в единица маса или обем адсорбент определя както интензивността на поглъщане на целия компонент, така и адсорбционния капацитет на твърдия поглъщател.

Основните **типове** промишлени адсорбенти са :

- Активни въглища
- Силикагел
- Алумогели
- Зеолити
- Йонити

Активните въглища имат сродство към въглеводороди и проявяват хидрофобност към полярни вещества, напр. вода.

Напоследък се получават и от полимерни материали.

Силикагелите- представляват хидратиран аморфен кварц. Предназначени са за поглъщане на полярни вещества. Сродството към водните пари ги прави особено приложими за **изсушаване** на разнообразни газови смеси.

Алумогели се получават при наляване на алуминиеви хидроокиси. Използват се за улавяне на **полярни органични съединения и изсушаване на газове**.

Зеолити – представляват алумосиликати, съдържащи оксиди на алкални и алкалоземни метали. Имат равномерна структура на порите, размерите на които са съизмерими с молекулните размери – наричат се **молекулни сита**. Разделят и въглеродороди с различна степен на наситеност.

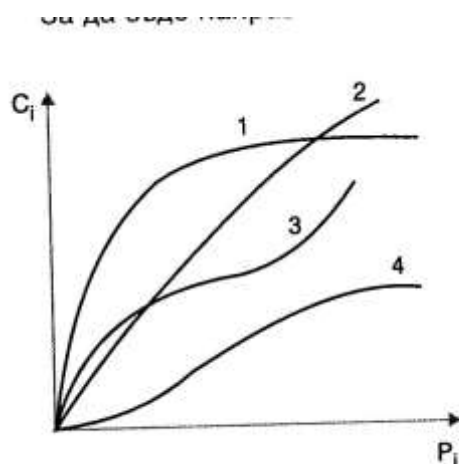
Адсорбционната способност се изразява чрез концентрацията на адсорбента в единица маса или обем адсорбент. Тя се определя от повърхността на адсорбента, големината на неговата пористост, свойствата на адсорбтива, неговата концентрация в газовия поток, температурата и др.

Адсорбционната изотерма – адсорбцията на целия компонент при определена негова концентрация в пречистваемия газ и при постоянна температура - определя избора на адсорбента.

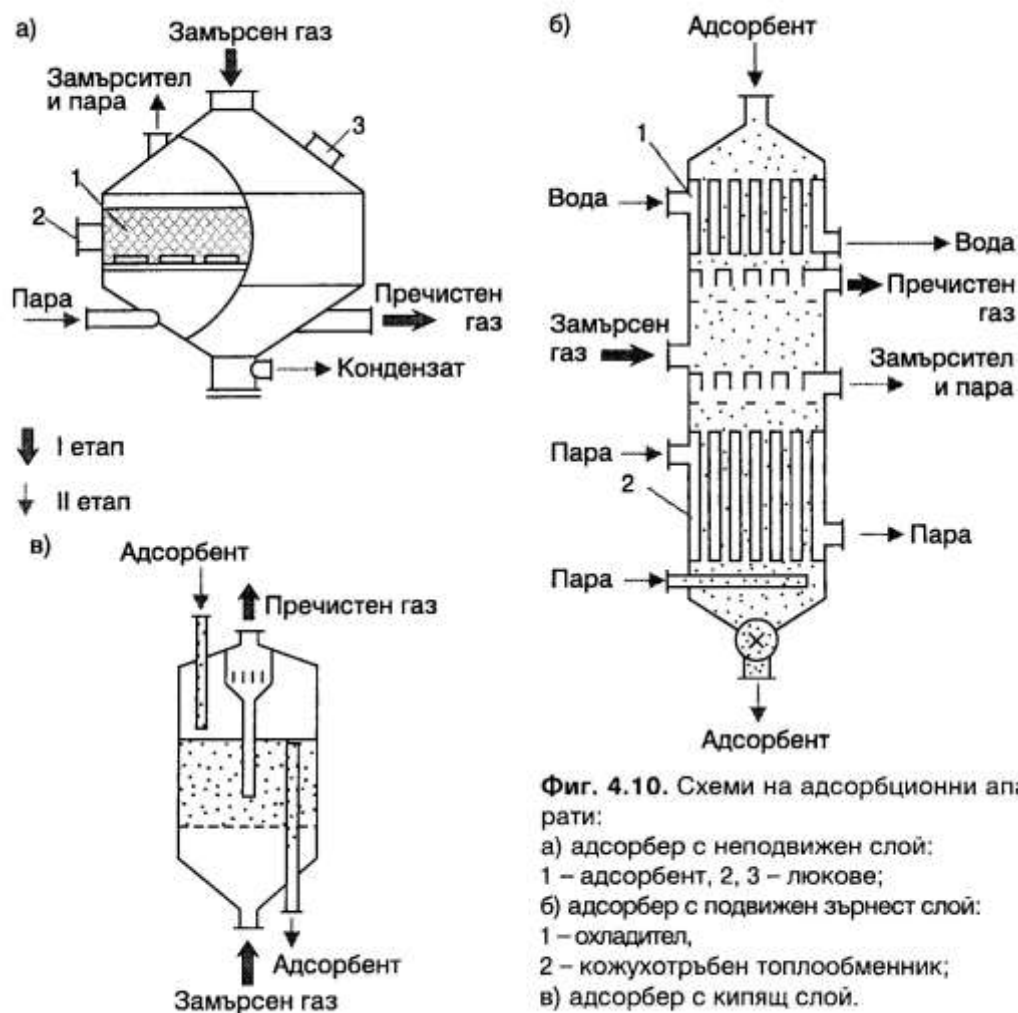
Различни типове адсорбционни изотерми са посочени на фиг. 9.1.

P- концентрацията на адсорбтива в газовата фаза

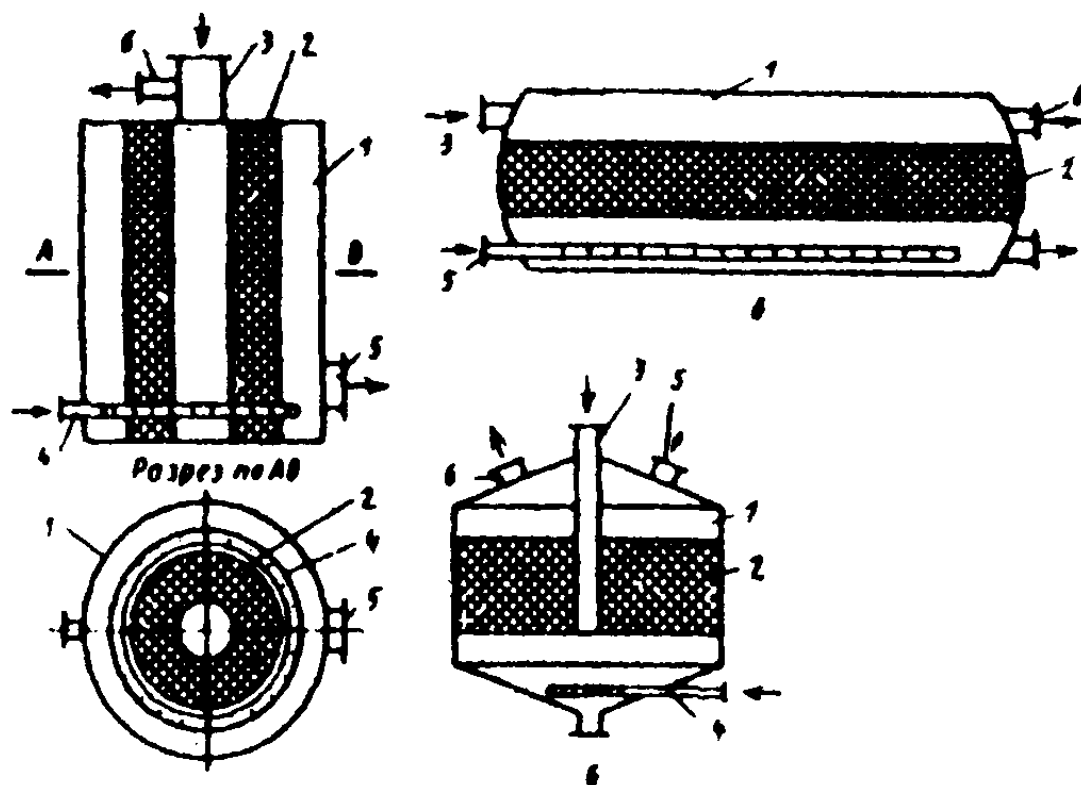
C- концентрацията на адсорбата върху повърхността на адсорбента.



Фиг. 9.1. Характерни адсорбционни изотерми



Фиг. 9.2. Схеми на адсорбционни апарати



Фиг. 9.3. Схеми на адсорбционни апарати

а - вертикален; б - хоризонтален; в - кръгов; 1 - адсорбер; 2 - слой на активирания въгленя; 3 - централна тръба за подаване на паровъздушната смес при адсорбция; 4 - барботер за подаване на пара при десорбция; 5 – тръба за изходна инертните по отношение към поглъщателя газове при адсорбция; 6 - тръба за изход на пара при десорбция.

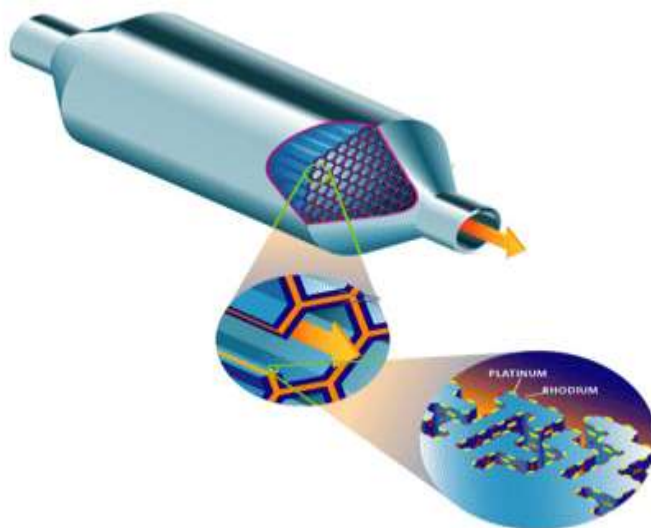
10. КАТАЛИТИЧНИ МЕТОДИ ЗА ПРЕЧИСТВАНЕ НА ГАЗОВЕ

10.1. Каталитичните методи

Каталитичните методи са най-ефективните за обезвреждане на съдържащи NO_x газове и именно те се използват при каталитичните конвертори. При тези методи се осъществява каталитична редукция на азотните оксиди до елементарен азот. **За катализатор се използват сплави на метали от групата на платината:** Pd, Pt, Rh или по-икономически изгодните сплави съдържащи Cr, Ni, Cu, Zn, и др.

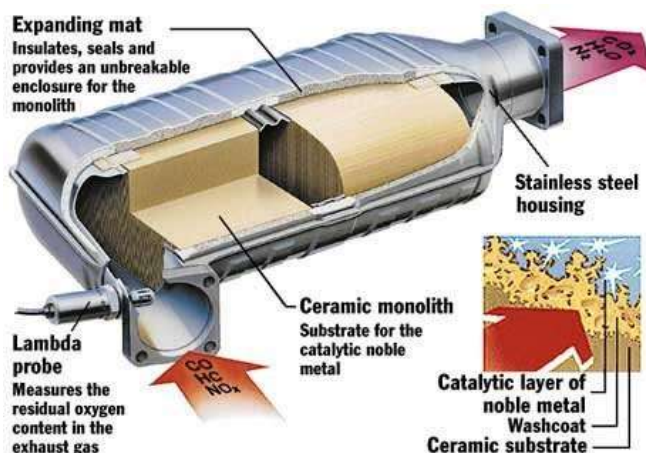
От гледна точка на екологията един от най-важните методи е **каталитичният конвертор**, при който приложение намира порьозна среда, която спада към групата на филтриращите средства. **Порьозната среда** се изработва от поливинилов алкохол, метали, керамика, ацетилцелулоза и др. Филтриращия материал се стерилизира с пара, може да се използва дълго време, след регенериране, но пропускливостта им се намалява [7,13].

Нагледно порьозната среда в каталитичен конвертор е дадена на фиг. 10.1 и 10.2.



Фиг. 10.1. Каталитичен конвертор

Преминаването на изгорелите газове през "порите" на порьозната среда осигурява максимална контактна повърхност с каталитичния елемент. По този начин значително се намаляват размерите на катализатора.



Фиг.10.2 Разрез на каталитичен конвертор

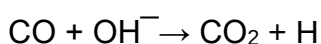
10.2. Механизъм на каталитична конверсия

При каталитичната конверсия, в горивните камери на двигателя се осъществяват основно следните реакции:

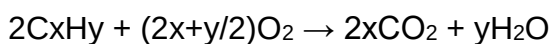
1. Редукция на азотните оксиди- (NO_x) до кислород- (O_2) и азот- (N_2) :

$$2\text{NO}_x \rightarrow x\text{O}_2 + \text{N}_2$$
2. Окисление на въглеродния оксид- (CO) до въглероден диоксид- (CO_2):

$$2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$$

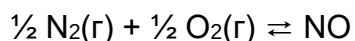


3. Окисление на неизгорелите въглеводороди- (CH) до въглероден диоксид- (CO_2) и вода- (H_2O)



В съвременните двигатели на автомобилите, в процеса на горене се развиват налягания от около 4 до 12MPa и високи температури от порядъка на 2600-2800°C, което е свързано с отделяне на голямо количество топлина. При тези условия азота и кислорода от въздуха, които постъпват в горивната камера под формата на горивна смес (гориво и въздух), се свързват в азотни оксиди- NO_x (NO , NO_2 , N_2O_5). На азотния оксид NO се падат 98-99% от общата емисия на азотни оксиди NO_x . За ефективността на горивния процес и замърсяването на околната

среда, практическо значение има посоката на изместване на равновесието в първата реакция.



Тя е обратима (равновесна) и ендотермична т.е. протича само при поглъщане на топлина, като равновесието е изместено към образуване на азотен оксид NO при високи температури. С изхвърлянето на газове от горивната камера, температурата им пада рязко. Поради малката скорост на разпадане на азотният оксид NO до азот N₂ и кислород O₂ при ниски температури, равновесието „замръзва“. Реакцията се забавя значително и образуваните количества от съединението не могат да се разпаднат по обратната реакция.

При окислително-редукционните процеси в процеса на горене, цялото количество участващ в горивото въглерод C преминава през стадия на образуване на въглероден оксид CO, с изключение на този който се съдържа в нереагиралите въглеводороди. **Краен продукт от процеса на окисление** на въглеводородите в горивото трябва да е въглеродния диоксид CO₂, водните пари H₂O и посочените по-горе съединения, характерни за пълното горене [10,12,14].

Изисквания към промишлените катализатори:

- Висока активност
- Механична и топлинна якост
- Трудно дезактивиране
- Ниско хидравлично съпротивление -
- Приемлива цена

11. БИОМЕТОДИ ЗА ОЧИСТВАНЕ НА ВЪЗДУХА