Лекция 3. Чрезвычайные ситуации экологического характера. Загрязнение атмосферы

Естественной потребностью людей является *воздух.* Город с населением 1 млн. человек нуждается примерно в 3 млн. т кислорода в год. Поступление его в атмосферу осуществляется за счет фотосинтеза, осуществляемого фитопланктоном Мирового океана и массивами лесов. Даже при интенсивном озеленении городской территории и наличии собственных водных объектов городские возможности воспроизводства кислорода существенно ниже потребности, которая может быть покрыта лишь за счет растительности и водной поверхности неурбанизированных пространств, общая площадь которых в 20-30 раз превышает городскую территорию.

Загрязнение атмосферы – изменение состава атмосферы в результате попадания в нее примесей.

Примесь в атмосфере – это рассеянное в атмосфере вещество, не содержащееся в ее постоянном составе.

Загрязняющее воздух вещество – это примесь в атмосфере, оказывающая неблагоприятное воздействие на окружающую среду и здоровье населения. Поскольку примеси в атмосфере могут претерпевать различные превращения, их можно условно разделить на первичные и вторичные.

Первичная примесь – примесь, сохранившая за рассматриваемый интервал времени свои физические и химические свойства.

Вторичная примесь – это примесь в атмосфере, образовавшаяся в результате превращения первичных примесей.

Превращения примесей в атмосфере – процесс, при котором примеси в атмосфере подвергаются физическим и химическим изменениям под влиянием природных и антропогенных факторов, а также в результате взаимодействия между собой.

3.1. Источники образования выбросов в атмосферу

Загрязнение атмосферы есть функция самых различных процессов, протекающих на земле – как естественных, так и антропогенных.

Естественное загрязнение имело место и до появления человеческих цивилизаций. Целый ряд явлений природы – лесные пожары, пыльные бури, извержения вулканов, газовые выделения из толщи земной коры – всегда будут характерны для некоторых районов планеты.

С увеличением популяции и концентрации населения в городах, индустриализацией и развитием транспорта на естественное загрязнение наложились антропогенные выбросы.

Антропогенные (техногенные) источники загрязнения атмосферного воздуха, представленные главным образом выбросами промышленных предприятий и автотранспорта, отличаются многочисленностью и многообразием видов (рис. 1).

Источники выбросов промышленных предприятий бывают *стационарными* (источники 1–6), когда координата источника выброса не изменяется во времени, и *передвижными* (нестационарными) (источник 7 – автотранспорт). Кроме того, они подразделяются на *точечные, линейные* и *площадные.* Причем, каждый из них может быть *затененным* и *незатененным.*

Точечные источники (на рис**.** 1 – 1, 2, 5, 7) – это загрязнения, сосредоточенные в одном месте. К ним относятся дымовые трубы, вентиляционные шахты, крышные вентиляторы. *Линейные источники* (3) имеют значительную протяженность. Это аэрационные фонари, ряды открытых окон, близко расположенные крышные вентиляторы. К ним могут быть также отнесены автотрассы.

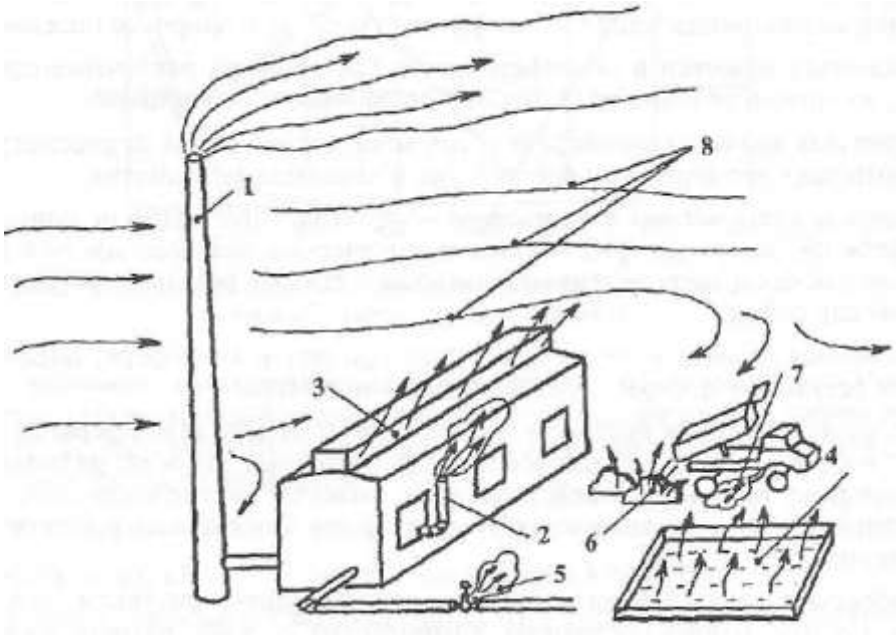


Рис. 1.
Источники загрязнения атмосферы:
1 – высокая дымовая труба; 2 – низкая дымовая труба; 3 – аэрационный фонарь цеха; 4 – испарения с поверхности бассейна; 5 – утечки через неплотности оборудования; 6 – пыление при разгрузке сыпучих материалов; 7 – выхлопная труба автомобиля; 8 – направление движения потоков воздуха

Площадные источники (4, 6). Здесь удаляемые загрязнения рассредоточены по плоскости промышленной площадки предприятия. К площадным источникам относятся места складирования производственных и бытовых отходов, автостоянки, склады горюче-смазочных материалов.

Незатененные (1), или высокие, источники расположены в недеформированном потоке ветра. Это дымовые трубы и другие источники, выбрасывающие загрязнения на высоту, превышающую 2,5 высоты расположенных поблизости зданий и других препятствий.

Затененные источники (2-7) расположены в зоне подпора или аэродинамической тени здания или другого препятствия.

Источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферу подразделяют на организованные и неорганизованные.

Из *организованного источника* (1, 2, 7) загрязняющие вещества поступают в атмосферу через специально сооруженные газоходы, воздуховоды и трубы.

Неорганизованный источник выделения загрязняющих веществ (5, 6) образуется в результате нарушения герметичности оборудования, отсутствия или неудовлетворительной работы оборудования по отсосу пыли и газов, в местах загрузки, выгрузки или хранения продукта. К неорганизованным источникам относят автостоянки, склады горюче-смазочных или сыпучих материалов и другие площадные источники.

По воздействию на организм человека загрязнение атмосферы подразделяют на физическое и химическое. К физическому относят: радиоактивное излучение, тепловое воздействие, шум, низкочастотные вибрации, электромагнитные поля. К химическому – наличие химических веществ и их соединений.

Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ характеризуются по 4 признакам: по агрегатному состоянию, химическому составу, размеру частиц и массовому расходу выброшенного вещества.

Загрязняющие вещества выбрасываются в атмосферу в виде смеси пыли, дыма, тумана, пара и газообразных веществ. Наиболее распространенными загрязняющими веществами, поступающими в атмосферный воздух от техногенных источников, являются: оксид углерода CO; диоксид серы SO_3; оксиды азота NO_x, углеводороды C_xH_y, пыль.

Загрязнение химическими веществами имеет локальный характер. Выбросы вредных металлургических, химических и др. предприятий способны образовывать несвойственные естественной атмосфере токсичные соединения.

Состав промышленных и бытовых выбросов города-миллионера весьма разнообразен и зависит от набора промышленных функций экономической базы города. Годовое количество газообразных выбросов и их состав представлены в таблице 1.

Таблица 1

Выбросы в атмосферу города с населением 1 млн. человек

Компонент	Количество, тыс. т/год	Компонент	Количество, тыс. т/год
Вода (пар, аэрозоль)	10800	Аммиак	1,4
CO_2	1200	Фториды	1,2
Сернистый ангидрид	240	Соединения свинца	0,5
CO	240	Бензапирен	0,08
Пыль	180	Мышьяк	0,031
C_xH_y	108	Уран (в составе пыли)	0,024
N_xO_y	60	Кобальт (в составе пыли)	0,018
Органика (фенол, бензол, спирт, растворители, жирные к-ты…)	8	Ртуть	0,0084
Хлор, аэрозоли H_2SO_4	5	Кадмий (в составе пыли)	0,0015
Сероводород	5	Бериллий (в составе пыли)	0,0012

В городах, где отсутствуют объекты горнодобывающей промышленности, черной и цветной металлургии, крупные теплоэлектростанции, работающие на угле, и другие мощные промышленные источники загрязнения атмосферного воздуха, основным фактором негативного воздействия на состояние воздушного бассейна является **автотранспорт**. Эксплуатация транспорта, оснащенного двигателями внутреннего сгорания, приводит к выбросам в атмосферу продуктов сгорания, содержащих такие вредные вещества, как угарный газ, оксиды азота, соединения свинца, серы, сажа, бенз(а)пирен и ряд других компонентов (порядка 200 наименований). В настоящее время удельный вес автотранспорта в загрязнении воздуха вентральной части крупных городов достигает 70% и более.

Загрязнение воздушного бассейна автотранспортом почти всегда носит локальный характер и проявляется на небольшой высоте. Так, концентрации ЗВ от автотранспорта быстро уменьшаются по мере отдаления от транспортной магистрали, а при наличии достаточно высоких преград (например, в закрытых дворах) могут снижаться более чем в 10 раз.

Результатом загрязнения атмосферы становится такое явление как **смог**. Смог – атмосферное явление, наступающее при совпадении определенных метеорологических условий и высокой

степени загрязненности воздушного бассейна. Различают следующие виды смогов: фотохимический, лондонский и ледяной.

Фотохимический смог образуется в ясную солнечную погоду, при низкой влажности, температуре выше +30° С, полном отсутствии ветра и высокой загрязненности воздуха. При фотохимическом смоге наблюдается появление голубоватой дымки или беловатого тумана и связанное с этим ухудшение видимости. Основными химическими соединениями, обеспечивающими вышеперечисленные свойства смога, являются озонид углерода и пероксиацил-нитраты (ПАН), образующиеся в результате химических реакций находящихся в воздухе углеводородов с оксидами азота и углерода под воздействием солнечной радиации (фотохимический эффект).

Смог вызывает у людей раздражение органов чувств, химически действует как окислитель (усиливает коррозию металлов, приводит к растрескиванию резины).

Лондонский смог формируется при влажности воздуха около 100%, температуре 0°С, длительной штилевой погоде и высокой концентрации продуктов сгорания твердого и жидкого топлива (SO_2, сажа, NO_x и CO). Наблюдается чаще в осенне-зимний период, характерен для умеренных широт с влажным морским климатом.

Ледяной смог характерен для городов, расположенных в высоких (северных) широтах. Он образуется при температурах ниже – 30° С, полном штиле, высокой влажности воздуха и наличии мощных источников загрязнения атмосферы. При низкой температуре капельки водяного пара превращаются в кристаллики льда (размером 5-10 мкм) и повисают в воздухе в виде густого белого тумана, видимость уменьшается до 8-10 м. На кристалликах льда адсорбируются частички и молекулы пылегазовых выбросов. Утяжеляясь, кристаллики льда опускаются в приземный слой. Дыхание в таком тумане становится невозможным.

3.2 Формирование состава атмосферного воздуха в населенных пунктах

Городские атмосферные выбросы образуют вокруг городов ореолы загрязнений, простирающиеся на расстояния до 60 км от центра города.

Рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере

Рассеивание в атмосфере выбрасываемых из дымовых труб и вентиляционных устройств загрязняющих веществ подчиняется законам турбулентной диффузии. На процесс их рассеивания существенное влияние оказывают следующие факторы: состояние атмосферы, физические и химические свойства выбрасываемых веществ, высота и диаметр источника выбросов, расположение источников, рельеф местности. Распределение концентрации загрязняющих веществ в атмосфере под факелом точечного источника показано на рис. 2.

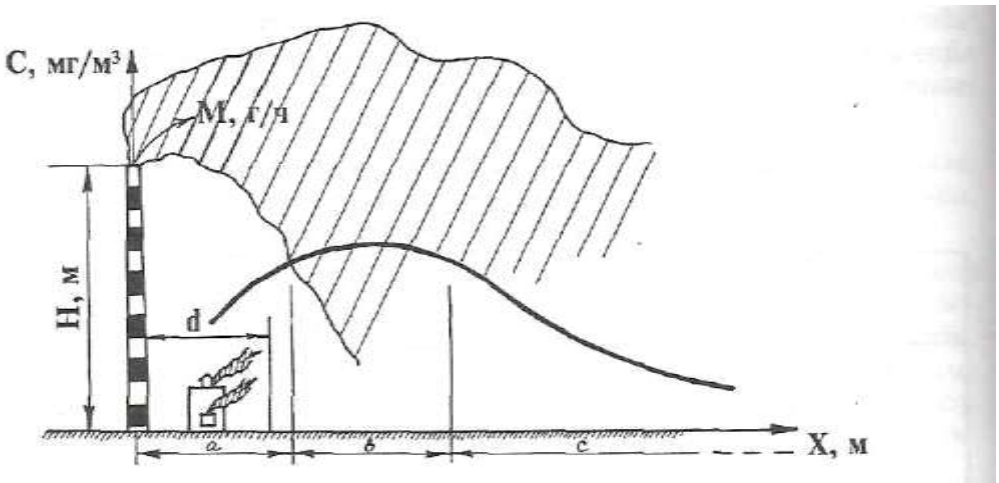


Рис. 2.

Распределение концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы под факелом точечного источника:

a – зона переброса факела; в – зона задымления; с – зона постепенного снижения уровня загрязнения; d – зона загрязнения неорганизованными выбросами

Зона задымления является наиболее опасной и не должна попадать на территорию селитебной застройки. Размеры зоны задымления в зависимости от метеоусловий находятся в пределах 10-50 высот дымовой трубы. Внутри зоны переброса факела высокие концентрации загрязняющих веществ имеют место за счет неорганизованных выбросов.

Влияние климатических условий на рассеивание примесей в атмосфере.

Широко распространено мнение, что с увеличением размера города возрастает и концентрация различных ЗВ в его атмосфере, однако в действительности, если рассчитывать среднюю концентрацию загрязнений на всю территорию города, то в многофункциональных городах с населением более 100 тыс. человек она находится примерно на одном и том же уровне и с увеличением размеров города практически не увеличивается. Это объясняется тем, что одновременно с увеличением объемов выбросов, возрастающих пропорционально росту численности населения, расширяется и площадь городской застройки, которая и выравнивает средние концентрации загрязнения атмосферы.

Существенной особенностью крупных городов с населением более 500 тыс. человек является то, что с увеличением территории города и численности его населения, в них неуклонно возрастает пространственная дифференциация загрязнений в различных районах. Наряду с невысокими уровнями концентраций загрязнения в периферийных районах, она резко увеличивается в зонах крупных промышленных предприятий и, в особенности в центральных районах. В последних, несмотря на отсутствие в них крупных промышленных предприятий, как правило, всегда наблюдаются повышенные концентрации ЗВ. Это вызывается как тем, что в этих районах наблюдается интенсивное движение автотранспорта, так и тем, что температура атмосферного воздуха в них на несколько градусов выше, чем в периферийных. Это приводит к появлению над центрами городов восходящих воздушных потоков, засасывающих загрязненный воздух из промышленных районов, расположенных на ближней периферии.

Метеоусловия оказывают существенное влияние на перенос и рассеивание примесей в атмосфере. Наибольшее влияние оказывает режим ветра и температуры (температурная стратификация), осадки, туманы, солнечная радиация.

Ветер может оказывать различное влияние на процесс рассеивания примесей в зависимости от типа источника и характеристики выбросов. Если отходящие газы перегреты относительно окружающего воздуха, то они обладают начальной высотой подъема. В связи с этим вблизи источника создается поле вертикальных скоростей, способствующих подъему факела и уносу примесей вверх. Этот подъем обусловливает уменьшение концентраций примесей у земли. Эта концентрация убывает и при очень сильных ветрах, однако это происходит за счет быстрого переноса примесей в горизонтальном направлении. В результате наибольшие концентрации примесей в приземном слое формируются при некоторой скорости, которую называют *"опасная"*.

При низких или холодных источниках выбросов повышенный уровень загрязнения воздуха наблюдается при слабых ветрах *(w* = 0-1 м/с) вследствие скопления примесей в приземном слое. Прямое влияние на загрязнение воздуха в городе оказывает направление ветра. Существенное увеличение концентрации примеси наблюдается тогда, когда преобладают ветры со стороны промышленных объектов.

Если температура окружающего воздуха понижается с высотой, нагретые струи воздуха поднимаются вверх (конвекция), а взамен их опускаются холодные. Такие условия называются *конвективными*.

Если вертикальный градиент температуры будет отрицательным (температура возрастает с высотой), то вертикально поднимающийся поток становится холоднее окружающих масс и его движение затухает. Такие условия называются инверсионными.

Если повышение температуры начинается непосредственно от поверхности земли, инверсию называют приземной, если же с некоторой высоты над поверхностью земли – приподнятой. Инверсии затрудняют вертикальный воздухообмен и рассеивание примесей в атмосфере.

Для состояния атмосферы в городах наибольшую опасность представляет приземная инверсия в сочетании со слабыми ветрами, т.е. ситуация "застоя воздуха".

Туманы на содержание загрязняющих веществ в атмосфере влияют следующим образом. Капли тумана поглощают примесь, причем не только вблизи подстилающей поверхности, но и из вышележащих, наиболее загрязненных слоев воздуха. Вследствие этого концентрация примесей сильно возрастает в слое тумана и уменьшается над ним. Растворение сернистого газа в каплях тумана приводит к образованию серной кислоты.

Осадки очищают воздух от примесей. После длительных интенсивных осадков высокие концентрации примесей в атмосфере практически не наблюдаются.

Солнечная радиация обусловливает фотохимические реакции в атмосфере с образованием различных вторичных продуктов, обладающих часто более токсичными свойствами, чем вещества, поступающие от источников выбросов. Таким образом, происходит окисление сернистого газа с образованием сульфатных аэрозолей.

В крупных городах формируется свой микроклимат, существенно меняются аэродинамические, радиационные, термические и влажностные характеристики атмосферы. Выделение в городах большого количества тепла, изменение газового и аэрозольного состава воздуха приводят к повышению температуры воздуха и образованию так называемых "островов тепла". Повышение температуры над крупным городом по сравнению с температурой окружающей местности может наблюдаться до высоты в несколько сотен метров.

3.3 Мероприятия по защите атмосферного воздуха

Мероприятия по обеспечению охраны атмосферного воздуха городской среды можно условно разделить на следующие группы:

- организация санитарно-защитных зон;
- архитектурно-планировочные решения;
- инженерно-организационные мероприятия;
- безотходные и малоотходные технологии;
- технические средства и технологии очистки выбросов.

1. Санитарно-защитные зоны

Объекты, являющиеся источниками выделения в окружающую среду вредных и с неприятным запахом веществ, следует отделять от жилой застройки санитарно-защитной зоной (СЗЗ).

Размеры нормативной СЗЗ до границы жилой застройки устанавливают в зависимости от мощности предприятия, особенностей технологического процесса производства, характера и количества выделяемых в атмосферу вредных и с неприятным запахом веществ. В соответствии с санитарной классификацией промышленных предприятий размеры санитарно-защитных зон устанавливаются в пределах от 50 до 3000 м в зависимости от класса опасности предприятия (табл.2).

Таблица 2.

Нормативные размеры санитарно-защитных зон

Класс опасности предприятия	Размер защитной зоны, м
I.А	3000
1.Б	1000
II	500
III	300
IV	100
V	50

Предприятия с технологическими процессами, не приводящими к выделению в атмосферу загрязняющих веществ, допускается размещать в пределах жилых районов.

СЗЗ нельзя рассматривать как резервную территорию и использовать ее для расширения промышленной площадки. На территории СЗЗ допускается размещение объектов более низкого класса вредности, чем основное производство, – складов, гаражей, автостоянок и т.д.

Размер СЗЗ до границы жилой застройки следует устанавливать:

- для предприятий с технологическими процессами, являющимися источниками загрязнения атмосферного воздуха – непосредственно от источника загрязнения (трубы, шахты, аэрационные фонари зданий, места погрузки – разгрузки сырья);
- для предприятий с технологическими процессами, являющимися источниками шума, вибрации, электромагнитных воли, радиочастот – от зданий, сооружений и площадок, где установлено это оборудование;
- для электростанций, котельных – от дымовых труб.

Территория СЗЗ должна быть благоустроена и озеленена. При проектировании благоустройства СЗЗ необходимо сохранять существующие зеленые насаждения. Со стороны селитебной территории надлежит предусматривать полосу древесно-кустарниковых насаждений шириной не менее 50 м, а при ширине зоны до 100 м — не менее 20 м.

Вблизи предприятий с большим количеством выбросов вредных веществ санитарно-защитная зона формируется в виде аэродинамической системы, состоящей из зеленых защитных полос и открытых пространств между ними. Полосы целесообразно размещать под углом 80-90° к основному направлению ветра. При этом зона проветривается по многочисленным каналам в горизонтальном направлении. Завихрение воздуха за полосами способствует образованию восходящих потоков и рассеиванию выбросов в наиболее высоких слоях атмосферы. Одновременно защитные полосы и газонные покрытия задерживают пыль и аэрозоли, поглощают вредные газы.

Размеры СЗЗ уточняются при расчетах рассеивания пылегазовых выбросов и могут оказаться больше или меньше нормативных. Если расчетный размер СЗЗ больше нормативного, то принимаются меры для снижения объема пылегазовых выбросов или размер СЗЗ устанавливается в соответствии с расчетным.

При нахождении промышленного предприятия внутри жилой застройки и невозможности обеспечить соблюдение размеров СЗЗ в соответствии с нормативами необходимо обеспечить степень очистки пылегазовых выбросов до уровня ПДК на границе предприятия.

Полученные по расчету размеры СЗЗ должны уточняться для различных направлений ветра в зависимости от результатов расчета загрязнения атмосферы и среднегодовой розы ветров района расположения предприятия по формуле:

$$l = L_0 \frac{p}{p_0},$$

где l – расчетный размер СЗЗ, м; L_Q – расчетный размер участка местности в данном направлении, где концентрация веществ (с учетом фоновой) превышает ПДК с.с., м ; p – среднегодовая повторяемость направления ветров рассматриваемого румба, *%;*p_0 – повторяемость направлений ветров одного румба при круговой розе ветров, %.

Например, при восьмирумбовой розе ветров

$$p_0 = \frac{100}{8} = 12{,}5\%.$$

2. Архитектурно-планировочные мероприятия

К архитектурно-планировочным относятся мероприятия, связанные с выбором площадки для строительства промышленного предприятия, взаимным расположением предприятия и жилых кварталов, взаимным расположением цехов предприятия, устройством зеленых зон.

Промышленный объект должен быть расположен на ровном, возвышенном, хорошо проветриваемом месте (рис. 3).

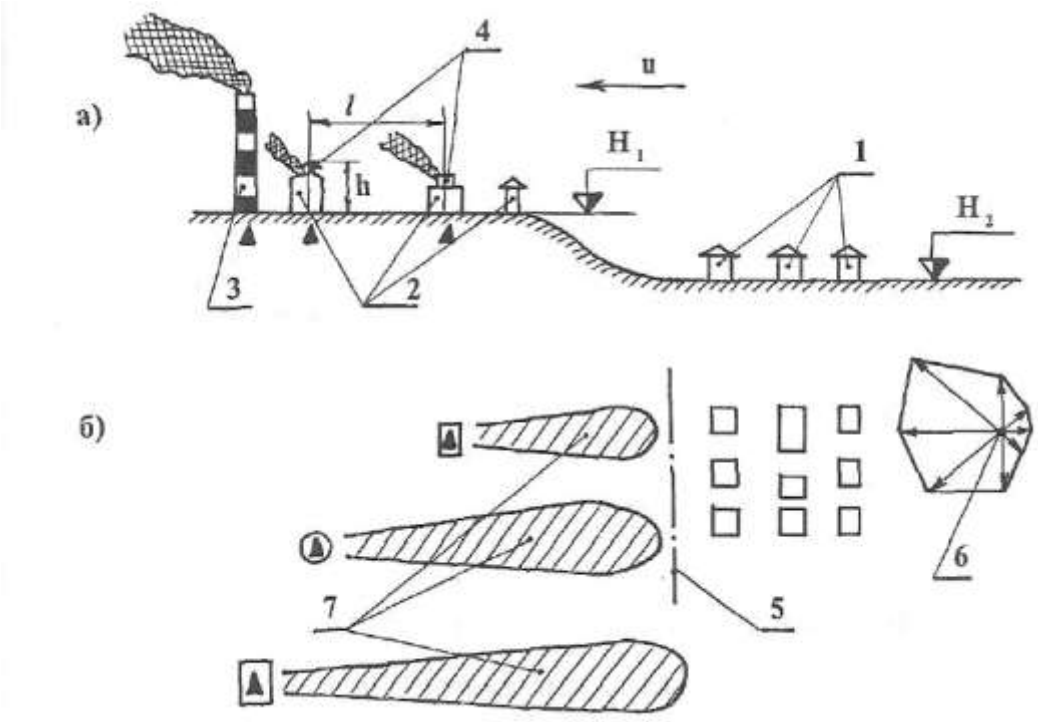


Рис. 3

Пример размещения промышленного объекта: а – разрез; б – план

1 – жилая застройка; 2 – цеха предприятия; 3 – точечный высокий источник (дымовая труба); 4 – линейные источники (аэрационные фонари); 5 – граница населенного пункта; 6 – средняя роза ветров теплого периода года; 7 – факелы выбросов загрязняющих веществ при направлении ветра в сторону жилой застройки

Площадка жилой застройки должна быть размещена ниже предприятия ($H_2<H_1$), в противном случае преимущество высоких труб для рассеивания вредных выбросов сводится на нет.

Источники загрязнения атмосферы желательно располагать за чертой населенных пунктов и с подветренной стороны от жилых массивов по средней розе ветров теплого периода года, чтобы выбросы уносились в сторону от жилых кварталов.

Расстояние между производственными зданиями при удалении вредных веществ через аэрационные фонари должно быть больше восьми высот впереди отстоящего здания, если оно широкое (l >8h), и десяти, если оно узкое (l >10h). В этом случае загрязняющие вещества не будут накапливаться в межкорпусной зоне.

Цехи, выделяющие наибольшее количество загрязняющих веществ, следует располагать на краю производственной территории со стороны, противоположной жилому массиву. Расположение цехов должно быть таким, чтобы при направлении ветра в сторону жилых кварталов их выбросы не объединялись.

Важное место занимают методы фитомелиорации с использованием зеленых насаждений, облесение и задернение территорий. Зеленые насаждения являются эффективными биофильтрами. При прохождении запыленного воздуха через кроны деревьев и кустарников, а также через травянистую растительность он очищается от пыли благодаря осаждению аэрозольных частиц на поверхности листьев и стеблей растений.

3. Инженерно-организационные мероприятия

Снижение интенсивности и организация движения автотранспорта. Для этого ведется строительство объездных и окружных дорог вокруг городов и населенных пунктов, устройство развязок пересечений дорог на разных уровнях, организация на основных городских магистралях движения по типу "зеленая волна".

Увеличение высоты дымовых труб. Чем выше труба, тем лучше рассеивание пылегазовых выбросов в атмосфере. Если дымовая труба высотой 100 м позволяет рассеивать вредные вещества в радиусе до 20 км, то труба высотой 250 м увеличивает радиус рассеивания до 75 км. Следует учитывать, что при выбросах через высокие дымовые трубы повышается общее фоновое загрязнение воздуха. С увеличением высоты трубы резко возрастает ее стоимость, поэтому на практике не рекомендуется строительство труб более 150 м.

Повышение скорости движения газов в дымовой трубе. Это способствует увеличению начального подъема выбросов, улучшению условий их рассеивания. С другой стороны, при этом возрастает гидравлическое сопротивление дымовой трубы и соответственно удельные энергозатраты на транспортировку газов.

4. Технические средства и технологии очистки выбросов

Очистка пылегазовых выбросов является основным мероприятием по защите и восстановлению воздушного бассейна.

Существуют различные методы очистки выбросов от твердых, жидких и газообразных примесей. На основе этих методов разработано большое количество устройств и аппаратов, при комплексном использовании которых может быть достигнута высокоэффективная очистка пылегазовых выбросов. В целях экономии производственных площадей эти устройства и аппараты размещают как правило в верхних ярусах цехового пространства. Извлеченные из пылегазовых выбросов вещества обычно являются либо готовым продуктом, либо ценным видом вторичного сырья.

Наиболее широко в практике применяются аппараты *сухой инерционной очистки газов.* Принцип действия этих аппаратов состоит в осаждении пыли в результате изменения направления и скорости движения очищаемого газового потока и ударения частиц пыли о стенки и поперечные преграды. Эти аппараты отличаются простотой конструкции и изготовления.

Простейшими установками для улавливания крупнодисперсной пыли, работающими по принципу гравитационного осаждения, являются пылеосадительные камеры. Они используются в качестве первой ступени очистки газов для улавливания наиболее крупных частиц (30-100 мкм), позволяют избежать осаждения пыли в газоходах и снижают нагрузку на последующие ступени очистки.

Устройство и принцип действия пылеосадительной камеры показаны на рис**.** 4. Степень очистки зависит от времени пребывания частиц в камере. Частицы, движущиеся в газовом потоке, опускаются под действием силы тяжести на дно бункера. Скорость газового потока в пылеосадительной камере не должна вызывать уноса осевших частиц пыли.

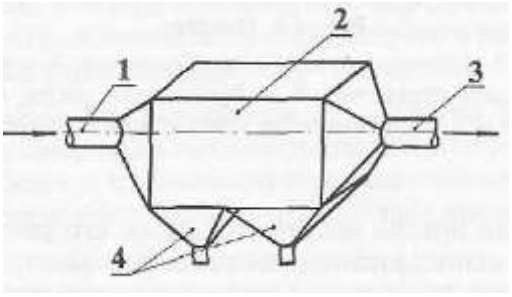


Рис. 4. Пылеосадительная камера:

1 – входной патрубок; 2 – корпус; 3 – выходной патрубок; 4 – бункера для пыли

К числу сухих инерционных пылеуловителей относятся жалюзийные, вен тиляторные и радиальные пылеуловители. Они эффективно улавливают час типы размером от 20-30 мкм. Более тонкая очистка от пыли обеспечиваете: с помощью циклонов. Циклон – один из широко распространенных пыле улавливающих аппаратов, предназначенный для улавливания частиц размером 5-20 мкм и более. Устройство и принцип действия циклона показаны на рис. 5.

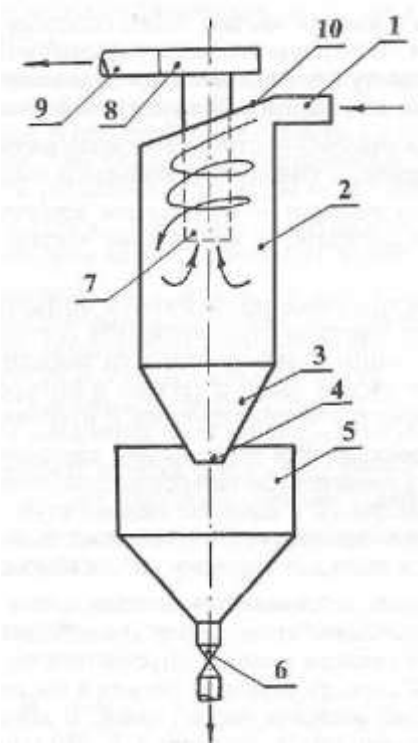


Рис. 5.
***Циклон*:**

1 – входной патрубок; 2 – цилиндрическая часть корпуса; 3 – коническая часть корпуса; 4 – пылевыпускное отверстие; 5 – бункер для пыли; 6 – пылевой затвор; 7 – выхлопная труба; 8 – раскручивающая улитка; 9 – выходной патрубок; 10 – наклонная крышка

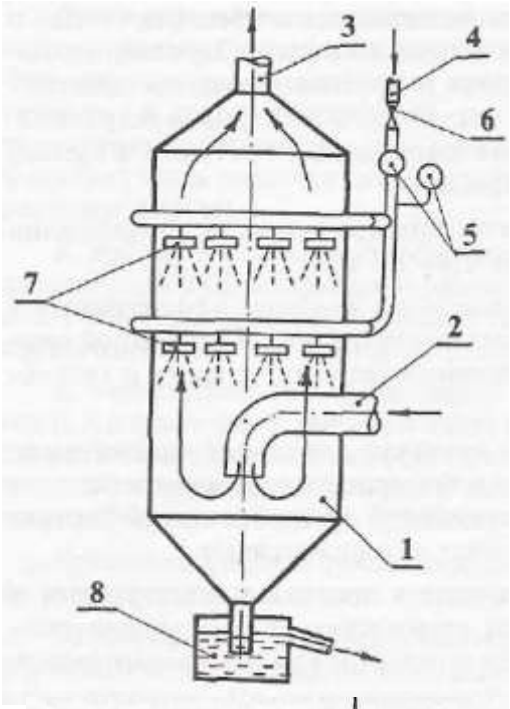
Вращение газового потока достигается путем его тангенциального ввода в циклон или путем использования специального завихрителя. В результате действия центробежных сил частицы пыли, взвешенные в потоке газа, отбрасываются на стенки корпуса циклона и выпадают из потока. Очищаемый поток газа, освобожденный от пыли, продолжая вращаться, изменяет направление движения на 180° и выходит из циклона через расположенную на оси выхлопную трубу. Частицы пыли, достигшие стенок корпуса, опускаются под действием силы тяжести и поступают в бункер. По мере наполнения бункера

пыль через пылевой затвор отгружается на утилизацию или захоронение. Очищенный воздух через выходной патрубок отводится из циклона.

К высокоэффективным типам аппаратов сухой очистки газов относятся *фильтры.*

В основе работы фильтров всех видов лежит фильтрация запыленного воздуха через пористую перегородку, в процессе которой частицы пыли, взвешенные в газе, задерживаются перегородкой, а газ беспрепятственно проходит через нее. Пористые перегородки могут представлять собой ткани, бумагу, волокнистые материалы, керамику, металлические сетки, зернистые слои.

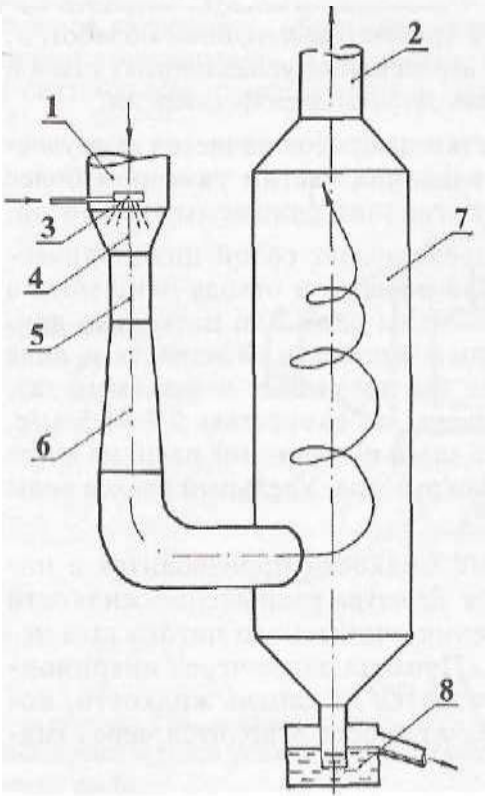
Мокрая очистка выбросов является одним из наиболее эффективных и широко распространенных методов пылегазоулавливания.



Основой процесса мокрой очистки является осаждение частиц пыли на каплях или на слое жидкости. В качестве орошающей жидкости чаще всего используется вода. Иногда, в зависимости от особенностей состава очищаемых выбросов, воду подщелачивают или подкисляют.

Форсуночный скруббер (рис. 6) представляет собой цилиндрическую емкость, оснащенную патрубками для подвода и отвода очищенного воздуха. В верхней части корпуса расположены один или несколько ярусов форсунок для распыления орошающей жидкости.

Рис. 6.
Форсуночный скруббер:
1 – цилиндрический корпус; 2 – входной патрубок; 3 – патрубок для отвода очищенного газа; 4 – подвод воды на орошение; 5 – контрольно-измерительные приборы параметров воды; 6 – регулирующая задвижка; 7 – форсунки верхнего и нижнего яруса орошения; 8 – гидрозатвор



Жидкость в виде дождя с диаметром капель 0,6-1 мм как бы промывает очищаемый газ, движущийся противотоком, т.е. снизу вверх, со скоростью 0,7-1,5 м/с. При больших скоростях происходит вынос влаги и отложение пыли на внутренних поверхностях выходного патрубка скруббера. Удельный расход воды в скрубберах составляет 1-6 л/м^3.

В *механическом скруббере* распыление жидкости производится с помощью вращающегося диска. В *скруббере Вентури* распыление жидкости происходит за счет турбулентного движения очищаемого потока газа через конфузор трубы Вентури (рис. 7). Проходя далее через инерционный каплеуловитель, поток газа освобождается от капель жидкости, которые удерживают частицы пыли, откуда жидкость отводится через гидрозатвор

Рис. 7. ***Скруббер Вентури:***
1 – вход очищаемого газа; 2 – выход очищенного газа; 3 – орошающее устройство; 4 – конфузор трубы Вентури; 5 – горловина; 6–диффузор; 7 – каплеуловитель; 8 –гидрозатвор

3.4 Контроль и нормирование загрязнений атмосферного воздуха

3.4.1. Нормирование качества атмосферного воздуха

Для количественной оценки содержания примеси в атмосфере используется понятие *концентрации* – количества вещества, содержащегося в единице объема воздуха, приведенного к нормальным условиям.

Качество атмосферного воздуха – это совокупность его свойств, определяющая степень воздействия физических, химических и биологических факторов на людей, растительный и животный мир, а также на материалы, конструкции и окружающую среду в целом. Качество атмосферного воздуха может считаться удовлетворительным, если содержание примесей в нем не превышает предельно допустимых концентраций (ПДК).

ПДК – это максимальная концентрация примеси в атмосфере, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него и на окружающую среду в целом прямого или косвенного воздействия, включая отдаленные последствия.

> Под *прямым воздействием* понимается нанесение организму человека временного раздражающего действия, вызывающего ощущение запаха, кашель, головную боль. При накоплении в организме вредных веществ выше определенной дозы могут возникать патологические изменения отдельных органов или организма в целом.
>
> Под *косвенным воздействием* понимаются такие изменения в окружающей среде, которые, не оказывая вредного влияния на живые организмы, ухудшают обычные условия обитания: поражаются зеленые насаждения, увеличивается число туманных дней и т.д. Основным критерием установления нормативов ПДК для оценки качества атмосферного воздуха является воздействие содержащихся в воздухе загрязняющих примесей на организм человека.

Для оценки качества атмосферного воздуха установлены две категории ПДК: максимально разовая ($ПДК_{мр}$) и среднесуточная ($ПДК_{сс}$).

$ПДК_{мр}$ – основная характеристика опасности вредного вещества. Установлена для предупреждения *рефлекторных реакций у* человека (ощущение запаха, световой чувствительности, биоэлектрической активности головного мозга) при кратковременном воздействии атмосферных примесей. По этому нормативу оцениваются вещества, обладающие запахом или воздействующие на другие органы чувств человека.

$ПДК_{сс}$ – установлена для предупреждения общетоксического, канцерогенного, мутагенного и другого влияния вещества на организм человека. Вещества, оцениваемые по этому нормативу, обладают способностью временно или постоянно накапливаться в организме человека.

К началу 1999 г. по нормативам ПДК оценивалось около 1000 веществ, которые могут попадать в атмосферный воздух. ПДК наиболее распространенных загрязняющих веществ приведены в табл. 3.

Таблица3

ПДК наиболее распространенных веществ

Наименование загрязняющего вещества	$ПДК_{мр}$, мг/м^3	$ПДК_{сс}$, мг/м^3
Азота диоксид	0,085	0,04
Азота оксид	0,4	0,06

Ангидрид серный	0,5	0,05
Аммиак	0,2	0,04
Бенз(а)пирен	—	0,1 мкг/ЮОм^3
Взвешенные вещества	0,5	0,15
Ртуть металлическая	—	0,0003
Свинец и его соединения	—	0,0003
Углерода оксид	5	3
Угольная зола ТЭС	0,05	0,02
Формальдегид	0,35	0,003
Хлор	0,1	0,03

Если вещество оказывает на окружающую природную среду вредное действие в меньших концентрациях, чем на человека, то при нормировании исходят из порога действия этого вещества на окружающую природу. Воздействие веществ, для которых не установлены ПДК, оценивается по ориентировочному безопасному уровню воздействия загрязняющего атмосферу вещества (ОБУВ). ОБУВ – временный гигиенический норматив для загрязняющего атмосферу вещества, устанавливаемый расчетным методом для целей проектирования промышленных объектов.

Установленные в других странах ПДК могут отличаться в большую или меньшую сторону.

Некоторые вещества при одновременном присутствии в атмосферном воздухе обладают однонаправленным действием, т.е. эффектом суммации. В этом случае при оценке качества атмосферного воздуха должно выполняться следующее условие:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + ... + \frac{C_n}{ПДК_n} \le 1,$$

где C_1 C_2 ..., C_n — концентрация каждого из веществ, обладающих эффектом суммации, мг/м^3.

Перечень веществ, обладающих эффектом суммации, постоянно дополняется и на сегодня насчитывает 51 группу веществ однонаправленного действия. действия норматива ПДВ, как правило, не превышает 5 лет.

Для каждого города на основании нормативов ПДВ предприятий и фонового состава атмосферного воздуха разрабатывают общегородские нормативы ПДВ, в соответствии с которыми индивидуальные ПДВ предприятий могут быть пересмотрены в сторону уменьшения.

Соблюдение установленных нормативов качества атмосферного воздуха обеспечивает благоприятную экологическую обстановку в данном районе в соответствии с требованиями закона об охране атмосферного воздуха.

Максимальная концентрация примеси с заданной вероятностью ее превышения определяется из предположения логарифмически нормального распределения концентраций примесей в атмосфере для заданной вероятности ее превышения:

$$q_M^P = \bar{q}\, exp\ z\sqrt{\ln(1+V^2)}/\sqrt{1+V^2}\ ,$$

где q – средняя концентрация; при P=0,1% z=3,08; P=l% z=2,33; P=5% z=l,65.

Индексы загрязнения атмосферы (ИЗА) — количественная характеристика уровня загрязнения атмосферы отдельной примесью, учитывающая различие в скорости возрастания степени вредности веществ, приведенной к вредности диоксида серы, по мере увеличения превышения ПДК

$$ПДК:\ I_i = (q/ПДК_{c.c})^{Ci}$$

где C_i – константа, принимающая значения 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 для соответственно 1, 2, 3 и 4-го классов опасности веществ, позволяющая привести степень вредности i-го вещества к степени вредности диоксида серы.

Комплексный индекс загрязнения атмосферы города (КИЗА) – количественная характеристика уровня загрязнения атмосферы, создаваемого *n* веществами, присутствующими в атмосфере города (или района города):

$$I_n = \sum_{i=1}^{n} I_i$$

где *n* – количество рассматриваемых примесей (может включать в себя все загрязняющие вещества, присутствующие в атмосфере города, или только приоритетные вещества, определяющие состояние атмосферы).

Фоновая концентрация – статистически достоверная максимальная концентрация, $C_ф$ мг/м^3. Она является характеристикой загрязнения атмосферы и определяется как значение концентрации, которое превышается не более чем в 5% случаев от общего количества наблюдений. Фоновая концентрация характеризует суммарную концентрацию, создаваемую всеми источниками, расположенными на данной территории.

3.4.2 Контроль выбросов

Мониторинг атмосферного воздуха – слежение за его состоянием и предупреждение о критических ситуациях, вредных или опасных для здоровья людей и других живых организмов. Наблюдение за уровнем загрязнения атмосферы осуществляют с помощью постов.

Посты наблюдения размещаются в павильоне или на автомобиле, оборудованном соответствующими приборами.

Установлено 3 категории постов наблюдений:

1. стационарный – предназначен для непрерывной регистрации содержания загрязняющих веществ или регулярного отбора проб воздуха для последующего анализа. Выделяются *опорные стационарные посты* – для выявления долговременных изменений содержания основных и наиболее распространенных загрязняющих веществ.
2. маршрутный – предназначен для регулярного отбора проб воздуха в фиксированной точке местности при наблюдениях, которые проводят с помощью специально оборудованного автомобиля-лаборатории.
3. передвижной (подфакельный) – предназначен для отбора проб под дымовым факелом с целью выявления зоны влияния данного источника. Наблюдения под факелом производятся с помощью лаборатории, смонтированной в автомобиле. Подфакельные посты располагаются в определенных точках на фиксированных расстояниях от источника. Они перемещаются в соответствии с направлением факела обследуемого источника выброса.

Стационарные и маршрутные посты размещаются в местах, выбранных на основе предварительного исследования загрязнения атмосферы, как правило, в центральной части населенного пункта, в жилых районах с различным типом застройки, в первую очередь в наиболее

загрязненных, на территориях, прилегающих к магистралям наиболее интенсивного движения транспорта, а также в зонах отдыха.

Каждый пост независимо от категории размещается на открытой, проветриваемой со всех сторон площадке с непылящим покрытием (асфальт, твердый грунт, газон) таким образом, чтобы исключить искажение результатов измерений из-за наличия зеленых насаждений, зданий и других объектов.

Необходимое количество постов устанавливается в зависимости от численности населения, площади населенного пункта, рельефа местности, особенностей размещения и уровня развития промышленных предприятий, расположения магистралей с интенсивным движением, расположения мест отдыха и курортных зон, метеоусловий.

Оптимальное количество постов, обеспечивающих минимальные затраты при заданной погрешности наблюдений в зависимости от численности населения города, следующее:

- до 50 тыс. жителей – 1 пост;
- до 100 тыс. – 2 поста;
- 100-200 тыс. – 2-3 поста;
- 200-500 тыс. – 3-5 постов;
- более 500 тыс. – 5-10 постов;
- более 1 млн жителей – 10-20 стационарных и маршрутных постов.

Расстояние между стационарными постами составляет от 0,5 до 5 км.

Перечень веществ, подлежащих контролю, определяется по составу выбросов предприятий города. Далее оценивается возможность превышения ПДК этих веществ. Окончательно список веществ, подлежащих контролю, уточняется по величине параметра потребления воздуха (ПВ). Этот показатель характеризует расход воздуха, необходимый для разбавления выбросов i-го вещества M_i до уровня концентрации q_i. или до уровня $ПДК_i$.

Дополнительно в обязательный список контролируемых веществ включаются:

- бенз(а)пирен растворимые сульфаты – в городах с населением более 100 тыс. жителей;
- формальдегид и соединения свинца – в городах с населением более 500 тыс. жителей;
- металлы – в городах с предприятиями черной и цветной металлургии;
- пестициды – в городах, расположенных вблизи сельскохозяйственных территорий.

Перечень контролируемых веществ пересматривается не реже одного раза в 3 года.