**Лекция 2. Загрязнение атмосферы промышленностью. Очистка пылегазовых выбросов**

Воздух в основном состоит из азота (78,08 об. %), кислорода (20,95 об. %), значительно меньшего количе­ства инертного газа аргона (0,93 об. %) и еще меньшего - углекислого газа (0,03 об. %). Помимо этих постоян­ных компонентов воздуха, важным компонентом является также водяной пар, содержание которого меняется от 0 об. % в сухом воздухе до 4 об. % во влажном воздухе. Основная масса водяных паров содержится в нижних слоях (до 6 км) атмосферы, в стратосфере они практически отсутствуют.

Все остальные имеющиеся в атмосфере газы содержатся лишь в следовых количествах, составляющих в сумме 0,02 об.%. Количество инертных газов (неона, гелия, криптона, ксенона) в воздухе колеблется от тысяч­ных до миллионных долей процента. В атмосферном воздухе содержится также незначительное количество водорода.

Примесями атмосферного воздуха природного происхождения, образующимися в результате химических и биологических процессов, являются такие газообразные вещества как аммиак, оксиды азота, метан, сероводо­род и др. Гниение органических веществ способствует поступлению в воздух сероводорода, аммиака. В резуль­тате брожения углеродистых веществ выделяется метан. Оксиды азота в небольших количествах образуются во время грозы при взаимодействии азота с кислородом.

Пылевые частицы от промышленных и природных источников также оказываются весьма существенным компонентом воздуха, хотя обычно они присутствуют в относительно небольших количествах. Природными источниками пыли являются действующие вулканы, ветровая эрозия почв, биологические процессы (пыльца растений), лесные пожары, выносы с поверхностей морей и океанов, а также космическая пыль.

В воздухе содержатся также микроорганизмы (бактерии, вирусы, плесневые грибки и др.). Патогенные микроорганизмы среди них встречаются редко и в ничтожных количествах.

Все другие соединения, изменяющие естественный состав атмосферы, попадающие в воздух из различных источников (в основном антропогенного происхождения), классифицируются как загрязнители.

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются:

* промышленность (производство энергии, чёрная и цветная металлургия, химическая и нефтехимиче­ская промышленность, предприятия по производству строительных материалов, горнодобывающая промыш­ленность);
* транспорт.

В зависимости от источника и механизма образования различают *первичные и вторичные загрязнители воздуха. Первичные* представляют собой химические вещества, попадающие непосредственно в воздух из ста­ционарных или подвижных источников. *Вторичные* образуются в результате взаимодействия в атмосфере пер­вичных загрязнителей между собой и с присутствующими в воздухе веществами (кислород, озон, аммиак, вода) под действием ультрафиолетового излучения. Часто вторичные загрязнители, например, вещества группы пероксиацетилнитратов (ПАН), гораздо токсичнее первичных загрязнителей воздуха. Большая часть присутст­вующих в воздухе твёрдых частиц и аэрозолей является вторичными загрязнителями.

С учётом токсичности и потенциальной опасности загрязнителей, их распространенности и источников эмиссии они были разделены условно на несколько групп:

1) основные (критериальные) загрязнители атмосферы - оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота, углеводороды, твёрдые частицы и фотохимические оксиданты;

1. полициклические ароматические углеводороды (ПАУ);
2. следы элементов (в основном металлы);
3. постоянные газы (диоксид углерода, фторхлорметаны и др.);
4. пестициды;
5. абразивные твёрдые частицы (кварц, асбест и др.);

7) разнообразные загрязнители, оказывающие многостороннее действие на организм (нитрозамины, озон, полихлорированные бифенилы (ПХБ), сульфаты, нитраты, альдегиды, кетоны и др.).

**Стандарты качества атмосферного воздуха.** Для сохранения чистоты атмосферы необходим тщательный и действенный контроль степени загрязнения воздуха. *Степень загрязнения атмосферного воздуха* сильно колеблется во времени и пространстве и опреде­ляется следующими факторами:

* особенностями источников эмиссии загрязнителей (тип источника, природа и свойства загрязняющих воздух веществ, объём выброса);
* влиянием метеорологических и топографических факторов (направление и скорость ветра, темпера­турные инверсии, атмосферное давление, влажность воздуха, рельеф местности и расстояние до источника за­грязнения).

Для борьбы с загрязнением атмосферного воздуха необходимы стандарты качества воздуха (в нашей стра­не - предельно допустимые концентрации ПДК), на базе которых осуществляются все мероприятия по сохра­нению чистоты окружающей среды. Наличие стандартов качества воздуха позволяет направлять усилия по оз­доровлению атмосферного воздуха более рационально, т.е. на мероприятия в тех регионах, где уровень загряз­нений воздуха превышает ПДК.

Для санитарной оценки воздушной среды используют следующие виды предельно допустимых концен­траций:

• ПДКрз - предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны, выражаемая в мг/м3 (в воздухе рабочей зоны определяют ПДКмррз и ПДКссрз);

• ПДКмррз - максимальная разовая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны (мг/м3);

* ПДКссрз - среднесменная предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны (мг/м3);
* ПДКпп - предельно допустимая концентрация вредного вещества на территории промышленного пред­приятия (обычно принимается ПДКпп = 0,3 ПДКрз);
* ОБУВ - ориентировочно безопасные уровни воздействия (для химических веществ, на которые ПДК не установлены, должны пересматриваться через каждые два года с учётом накопления данных о здоровье рабо­тающих или заменяться ПДК);
* ВДКрз - временно допустимая концентрация химического вещества в воздухе рабочей зоны (времен­ный отраслевой норматив на 2-3 года);

• ОДКрз - ориентировочно допустимая концентрация химического вещества в воздухе рабочей зоны;

• ПДКнп - предельно допустимая концентрация вредного вещества в атмосферном воздухе населённого пункта (в воздухе населённых мест определяют ПДКмр и ПДКсс);

• ПДКмр - максимальная разовая концентрация вредного вещества в воздухе населённых мест (мг/м3);

• ПДКсс - среднесуточная предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе населённых мест (мг/м3).

При установлении ПДКрз и ПДКнп учитывается различный характер воздействия вещества на человека в условиях производства и в населённом месте. При определении воздействия вещества в рабочей зоне находятся практически здоровые, взрослые люди, и время воздействия ограничено протяжённостью рабочего дня и рабо­чим стажем. При определении же ПДКнп учёту подлежат иные факторы; принимается во внимание, что вещест­во воздействует круглосуточно и в течение всей жизни на всех людей (взрослых и детей, здоровых и больных). Поэтому для одного и того же загрязнителя ПДКрз в десятки и даже сотни раз выше, чем ПДКнп.

Схематично классификация ПДК вредных веществ в воздушной среде показана на рис. 12.

Атмосферные загрязнители по классификации вредных веществ по степени токсичности и опасности относятся к четырём классам опасности:

1-й класс - чрезвычайно опасные (бенз(а)пирен, свинец и его соединения);

2-й класс - высокоопасные (NO2, H2S, HNO3);

3-й класс - умеренно опасные (пыль неорганическая, сажа, SO2);

4-й класс - малоопасные (бензин, CO).

Оценка качества атмосферного воздуха основана на сравнении фактически измеренной концентрации с ПДК.

При одновременном присутствии нескольких загрязняющих веществ, обладающих эффектом суммации, их безразмерная концентрация *Х* не должна превышать единицу:

$$X=\sum\_{i=0}^{n}\frac{c\_{i}}{ПДК\_{i}}\leq 1$$

Чем больше кратность превышения ПДК, тем хуже качество воздуха. Чем выше безразмерный показатель *Х* для веществ с аддитивными действиями, тем хуже качество воздуха.

На практике в воздухе имеется, как правило, несколько загрязняющих веществ. Поэтому для оценки каче­ства воздуха применяется комплексный показатель *I* - индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), который равен сумме нормированных по ПДК и приведённых к концентрации диоксида серы средних содержаний загрязняю­щих веществ.

Для одного вещества

$$I=\left(\frac{\overbar{c}}{ПДК\_{c.c.}}\right)^{k}$$

где *c* - средняя за год концентрация, мг/м3; ПДКсс - среднесуточная ПДК, мг/м3, в случае отсутствия вместо неё принимается ПДКмр или ОБУВ; *к* = 1,7 (класс опасности 1); *к* = 1,3 (класс опасности 2); *к* = 1,0 (класс опас­ности 3); *к* = 0,9 (класс опасности 4).

ПДК

вредного вещества

ПДК р.з.

ПДК

м.р. р.з.

Пдк

с.с. р.з.

Рисунок 12. Классификация ПДК вредных веществ в воздухе

|  |  |
| --- | --- |
| Класс экологического загрязнения атмосферы | I |
| Норма | < 5 |
| Риск | 5-8 |
| Кризис | 8-15 |
| Бедствие  | >15 |

Рисунок 13. Шкала экологического состояния атмосферы

Для нескольких веществ

$$I=\sum\_{i=1}^{n}I\_{i}=\sum\_{i=1}^{n}\left(\frac{c\_{i}}{ПДК\_{с.с.}}\right)^{k\_{i}}$$

Классы экологического состояния атмосферы определяют по четырёхбальной шкале (рис. 13), где класс нормы соответствует уровню загрязнения ниже среднего по шкале, класс риска равен среднему уровню, класс кризиса выше среднего уровня. Ранжирование экологического состояния атмосферы по классам осуществляет­ся через расчёт комплексного индекса загрязнения атмосферы.

В нашей стране осуществляется постоянный санитарный контроль за соблюдением ПДК токсичных ве­ществ в воздухе рабочей зоны и атмосфере и предельно допустимых выбросов (ПДВ) промышленных предпри­ятий, проводимые химиками санитарно-эпидемиологических станций (СЭС) и санитарно-гигиенических лабо­раторий промышленных предприятий.

**Организация наблюдений за уровнем загрязнения атмосферы. Отбор проб воздуха.** Наблюдения за уровнем загрязнения атмосферы осуществляется на постах. Постом наблюдения является выбранное место (точка местности), на котором размещают павильон или автомобиль, оборудованные соответ­ствующими приборами.

Устанавливаются посты наблюдений трёх категорий: стационарные, маршрутные, передвижные (подфакельные). Стационарный пост предназначен для обеспечения непрерывной регистрации содержания загряз­няющих веществ или регулярного отбора проб воздуха для последующего анализа.

Маршрутный пост предназначен для регулярного отбора проб воздуха, когда невозможно установить ста­ционарный пост или необходимо более детально изучить состояние загрязнения воздуха в отдельных районах, например в новых жилых районах.

Передвижной (подфакельный) пост предназначен для отбора проб поддымовым (газовым) факелом с це­лью выявления зоны влияния данного источника промышленных выбросов.

Число постов и их размещение определяется с учётом численности населения, площади населённого пунк­та и рельефа местности, а также развития промышленности, сети магистралей с интенсивным транспортным движением и их расположением по территории города, рассредаточенности мест отдыха и курортных зон.

Одновременно с отбором проб воздуха определяют следующие метеорологические параметры: направле­ние и скорость ветра, температуру воздуха, состояние погоды и подстилающей поверхности.

Перечень веществ для измерения на стационарных, маршрутных постах и при подфакельных наблюдениях устанавливается на основе сведений о составе и характере выбросов от источника загрязнения в городе и ме­теорологических условий рассеивания примесей. Определяются вещества, которые выбрасываются предпри­ятиями города, и оценивается возможность превышения ПДК этих веществ. В результате составляется список приоритетных веществ, подлежащих контролю в первую очередь. Как правило, на опорных стационарных по­стах организуются наблюдения за содержанием основных загрязняющих веществ: пыли, диоксида серы, оксида углерода, оксида и диоксида азота, а также за специфическими веществами, которые характерны для промыш­ленных выбросов многих предприятий данного города (населённого пункта).

При определении приземной концентрации примеси в атмосфере отбор проб и измерение концентрации примеси проводятся на высоте 1,5...3,5 м от поверхности земли. Продолжительность отбора проб воздуха для определения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ при дискретных наблюдениях по полной программе составляет 20.30 мин, при непрерывном отборе - 24 ч. Продолжительность метеорологических наблюдений составляет 10 мин.

Существенным этапом санитарно-химических исследований воздушной среды рабочей зоны является от­бор пробы воздуха для определения содержания микропримесей токсичных соединений. Результаты самого точного и тщательно выполненного анализа теряют смысл в случае неправильной подготовки к отбору пробы и неверного его выполнения. Поэтому при разработке методов контроля этому этапу уделяют большое внимание. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны предприятий народного хозяйства изло­жены в соответствии с техническим регламентом. Технический регламент устанавливает общие санитарно-гигиенические требования к показателям микроклимата и допустимому содержанию вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Содержа­ние вредных веществ в воздухе рабочей зоны подлежит систематическому контролю для предупреждения воз­можности превышения предельно допустимых концентраций - максимально разовых рабочей зоны (ПДКмр.рз) и среднесменных рабочей зоны (ПДКссрз).

Пробы воздуха следует отбирать на местах постоянного и временного пребывания работающих, при ха­рактерных производственных условиях с учётом особенностей технологического процесса (непрерывный, пе­риодический), температурного режима, количества выделяющихся химических веществ; физико-химических свойств контролируемых веществ, их агрегатного состояния в воздухе, летучести, давления паров и возможно­сти их превращения (окисление, гидролиз, деструкция и др.); температуры и влажности окружающей среды; класса опасности и биологического действия химического соединения.

При наличии в воздухе нескольких химических веществ или сложных многокомпонентных смесей неиз­вестного состава необходимо предварительно провести идентификацию смесей и определить приоритетные - наиболее опасные и характерные компоненты, на которые следует ориентироваться при оценке состояния воз­душной среды.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия сумма отношений фактических концентраций каждого из них в воздухе к их ПДК не должна превы­шать единицы.

*Контроль за соблюдением* ПДКмррз и ОБУВ проводят при непрерывном или последовательном отборе в течение 15 мин в любой точке рабочей зоны при условии достижения предела обнаружения определяемого ве­щества. Если предел обнаружения метода анализа даёт возможность в течение 15 мин отобрать не одну, а не­сколько проб воздуха, то нужно определить среднее значение из результатов отобранных проб за указанный период времени. Если данным методом невозможно обнаружить вещество на уровне 0,5 ПДКмр за 15 мин, до­пускается увеличение продолжительности отбора проб до 30 мин.

Если стадия технологического процесса настолько коротка, что нельзя отобрать в одну пробу необходимое для анализа количество вещества, то отбор проб в эту же концентрационную трубку (фильтр) или поглотитель­ный прибор необходимо продолжить при повторении операции.

При санитарно-гигиенических исследованиях производственной атмосферы с длительными стадиями тех­нологического процесса отбор проб необходимо проводить с учётом начала, середины и конца процесса, а так­же с учётом продолжительности выделения наибольшего количества токсичных веществ.

Для получения достоверных результатов при санитарно-химических исследованиях воздушной среды в любой точке на каждой стадии технологического процесса или отдельной операции должно быть последова­тельно отобрано не менее пяти проб воздуха. Вычисляют среднее арифметическое значение (концентрация *с,* мг/м3) и доверительный интервал (е, %):

$$c=\left(c\_{1}+c\_{2}+c\_{3}+c\_{4}+c\_{5}\right)5$$

$$ε=(с\_{max}-с\_{min})∙75/с$$

где с1, с5 - концентрация в отдельных пробах; сmах - максимальная концентрация в отобранных пробах; сmin -минимальная концентрация в отобранных пробах.

Если полученное значение доверительного интервала равно или меньше 25%, то значение средней ариф­метической считается достоверным. Если вычисленный доверительный интервал превышает 25%, должны быть отобраны дополнительные пробы.

Полученный результат сравнивают с величинами ПДКмр.рз, приведенными в ГОСТ 12.1.005-88 «Общие са­нитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые кон­центрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны», ГН 2.2.5.1314-03 «Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

*Выбор мест отбора проб воздуха.* В новых или ранее неизученных в гигиеническом плане производствах, воздушная среда, которая может загрязняться токсическими веществами, санитарный контроль следует прово­дить преимущественно на всех рабочих местах с постоянным и временным пребыванием работающих.

На основе данных по исследованию загрязненности воздуха рабочей зоны в комплексе с данными по оценке технологического процесса, оборудования, вентиляционных устройств определяют наиболее неблаго­приятные в санитарно-гигиеническом отношении рабочие места, на которых в дальнейшем отбирают пробы воздуха.

*Санитарный контроль* загрязнений воздушной среды осуществляют выборочно на отдельных рабочих местах, стадиях или операциях, если на обследуемом участке, характеризующемся постоянством технологиче­ского процесса, достаточно идентичное оборудование или одинаковые рабочие места, на которых выполняют одни и те же операции. При этом отбор проб следует проводить на рабочих местах, расположенных в центре и по периферии помещения или на открытой площадке с оборудованием. При выборе точек отбора проб основ­ное внимание следует уделять рабочим местам по основным профессиям.

Пробы отбирают с учётом технологических операций, при которых возможно наибольшее выделение в воздух рабочей зоны вредных веществ, например: у аппаратуры и агрегатов в период наиболее активных хими­ческих и термических процессов (электрохимических, пиролитических и др.); на участках загрузки и выгрузки веществ, затаривания продукции; на участках транспортировки, размола и сушки сыпучих, пылящих материа­лов; в местах наиболее вероятных источников выделения при перекачке жидкостей и газов (насосные, компрес­сорные) и др.; в местах отбора технологических проб, необходимых для анализа; на участках, плохо вентили­руемых, необходимо проводить санитарно-химический анализ воздуха рабочей зоны на основных местах пре­бывания работающих в период проведения планового ремонта технологического, санитарно-технического и другого оборудования, если эти операции могут сопровождаться выделением вредных веществ, в период ре­конструкции, если при этом часть оборудования продолжает эксплуатироваться.

*Периодичность отбора проб воздуха* для каждого вещества в каждой точке устанавливают в зависимости от характера технологического процесса (непрерывного, периодического), класса опасности и характера биоло­гического действия производственной среды, уровня загрязнения, времени пребывания обслуживающего пер­сонала на рабочем месте.

При возможном поступлении в воздух рабочей зоны производственных помещений вредных веществ с остронаправленным механизмом действия пробы следует отбирать с применением систем автоматических при­боров. При отсутствии приборов непрерывного контроля при согласовании с органами санитарного надзора до­пускается в качестве временной меры периодический отбор проб воздуха для определения вещества с острона­правленным механизмом действия. Для остальных веществ *периодичность контроля следует устанавливать в зависимости от класса опасности вредного вещества:* для веществ I класса опасности - не реже одного раза в 10 дней; для веществ II класса - не реже одного раза в месяц; для веществ III и IV классов - не реже одного раза в квартал.

В зависимости от конкретных условий производства периодичность контроля может быть изменена по со­гласованию с санитарно-эпидемиологической службой.

*Контроль за соблюдением среднесменных концентраций* предусмотрен для веществ, которые имеют соот­ветствующий норматив - ПДКсс.рз для характеристики уровня среднесменных концентраций, воздействующих на рабочих одной профессиональной группы, необходимо провести обследование не менее пяти человеко-смен. Среднесменную концентрацию в зоне дыхания работающих измеряют приборами индивидуального контроля при непрерывном или последовательном отборе проб воздуха в течение всей смены или не менее 75 % её про­должительности.

Продолжительность отбора одной пробы и число проб за смену зависят от методики и концентрации ток­сического вещества в воздухе. В некоторых случаях среднесменную концентрацию *ст* (мг/м3) вычисляют по результатам разовых измерений на отдельных местах пребывания рабочих с учётом хронометражных данных и рассчитывают по формуле:

$$c\_{c}=\left(c\_{1}t\_{1}+c\_{2}t\_{2}+ …+c\_{n}c\_{n}\right)/\left(t\_{1}+t\_{2}+ …t\_{n}\right)$$

где с1, с2, *сп* - среднеарифметические значения разовых измерений концентраций вредных веществ на отдель­ных стадиях технологического процесса, мг/м3; *t1,* t2, *tn* - продолжительность отдельных стадий технологиче­ского процесса, мин.

В настоящее время для измерения среднесменных концентраций химических веществ разработано новое устройство - пассивный дозиметр.

*Выбор способа отбора* обычно определяется природой анализируемых веществ, наличием сопутствующих примесей и другими факторами. Для обоснованного выбора способа отбора проб необходимо иметь чёткое представление о возможных формах нахождения токсических примесей в воздухе. Микропримеси вредных ве­ществ в воздухе могут находиться в виде *газов* (аммиак, дивинил, озон и др.), в виде *паров* - преимущественно вещества, представляющие собой жидкость с температурой кипения до 230 - 250 °С (ароматические хлориро­ванные и алифатические углеводороды, низшие ациклические спирты, кислоты и др.), а также некоторые *твёр­дые вещества,* обладающие высокой летучестью (йод, нафталин, фенол). Иногда вещества могут находиться в воздухе одновременно в виде *паров и аэрозолей.* Это преимущественно жидкости с высокой температурой ки­пения (дибутилфталат, диметилтерефталат, капролактам и др.). Попадая в воздух, их пары конденсируются с образованием аэрозоля конденсации.

*Аэрозоли конденсации* образуются также при некоторых химических реакциях, приводящих к появлению новых жидких или твёрдых фаз. Например, при взаимодействии триоксида серы (серного ангидрида) с влагой образуется туман серной кислоты; тетрахлорид титана с влагой воздуха образует туман диоксида титана; амми­ак и хлороводород образуют туман хлорида аммония. Конденсационное происхождение имеют также аэрозоли, образующиеся при сварочных работах и других высокотемпературных процессах, сопровождающихся расплав­лением и испарением металлов. Например, свинец, поступающий в воздушную среду в виде паров при нагреве свинца и его сплавов до температуры выше 400 °С, в воздухе рабочей зоны находится в виде аэрозоля конден­сации.

Наряду с аэрозолями конденсации в различных производственных процессах (например, при механиче­ском измельчении твёрдых веществ и распылении жидкостей) образуются аэрозоли дезинтеграции с более гру­бой дисперсностью. Причём при значительной летучести дисперсной фазы аэрозоля возможно одновременное присутствие аэрозоля и паров (пульверизационная окраска изделий).

Правильное установление агрегатного состояния вредного вещества в воздухе способствует правильному выбору фильтров и сорбентов и уменьшению погрешности определения, связанной с пробоотбором.

При проведении санитарно-химических исследований на производстве пробы воздуха отбирают преиму­щественно аспирационным способом путём пропускания исследуемого воздуха через поглотительную систему (жидкая поглотительная среда, твёрдые сорбенты или фильтрующие материалы). Минимальная концентрация вещества, поддающаяся чёткому и надёжному определению, зависит от количества отбираемого воздуха. Ас­пирация излишних объёмов воздуха приводит к неоправданным потерям рабочего времени, при недостаточном объёме воздуха снижается точность анализа, а иногда вообще оказывается невозможным проведение количест­венных определений.

Оптимальный объём воздуха V, необходимый для определения токсической примеси с заданной точно­стью, можно рассчитать по следующей формуле:

$$V=aV\_{0}/V\_{n}KC\_{ПДК}$$

где *а* - нижний предел обнаружения в анализируемом объёме пробы, мкг; V0 - общий объём пробы, см3; *Vn* -объём пробы, взятой для анализа, см3; СПДК - предельно допустимая концентрация, мг/м3; *K* - коэффициент, соответствующий долям ПДК (1/4, 1/2, 1 ПДК и т.д.).

**Литература:** осн. 2 [206 -223]

**Контрольные вопросы:**

1.Классификация вредных веществ по степени токсичности и опасности.

2.Организация наблюдений за уровнем загрязнения атмосферы. Отбор проб воздуха.

3. Контроль за соблюдением ПДКмррз и ОБУВ.