

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА» (СПбГУТ)

Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

ККРС ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»
Направление подготовки 05.03.06 Экология и природопользование
Разработчик: профессор, д.б.н. Лекомцев П.В.

Санкт-Петербург
2016

1. Рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере

1.1. Атмосферная турбулентность

Рассеивание примесей в атмосфере связано с *атмосферной турбулентностью* и происходит в основном за счет *молекулярной* и *турбулентной диффузии*. При этом основную роль играет *турбулентная диффузия*, роль *молекулярной диффузии* незначительна.

Турбулентная диффузия имеет две составляющих - *термическую* и *динамическую*. *Термическая диффузия* (обеспечивает *конвективную турбулентность*) связана с вертикальным температурным градиентом воздуха.

Динамическая диффузия (обеспечивает *механическую турбулентность*) происходит при движении воздушных масс под влиянием ветра, в нижних слоях тропосферы усиливается под влиянием макронеровностей рельефа и не связана с температурным градиентом.

Таким образом, *атмосферная турбулентность* является результатом двух процессов:

а) *конвективная турбулентность* - естественные конвективные потоки как результат нагревания атмосферы (dp/dz);

б) *механическая турбулентность* является результатом ветрового сдвига - (du/dz).

1.2. Распределение концентрации примеси в атмосфере под факелом точечного источника

На процесс рассеивания в атмосфере выбрасываемых из дымовых труб и вентиляционных устройств промышленных выбросов существенное влияние оказывают следующие факторы:

- ⌚ состояние атмосферы;
- ⌚ физические и химические свойства выбрасываемых веществ (плотность, температура газа, дисперсный состав пыли и т.д.);
- ⌚ высота и диаметр источника выброса;
- ⌚ расположение источников;
- ⌚ рельеф местности.

Распределение концентрации загрязняющих веществ в атмосфере под факелом высокого точечного источника показано на рис.1.1.

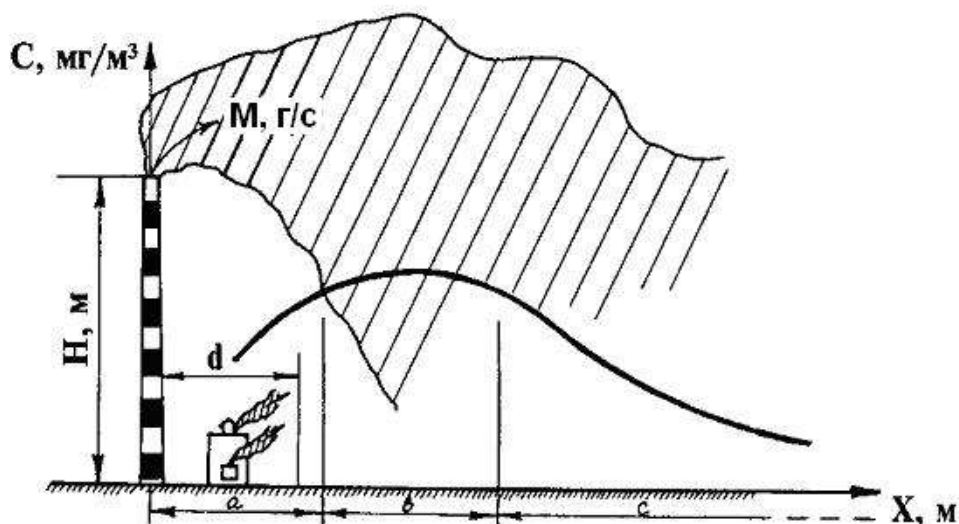


Рис.1.1 – Концентрация загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы под факелом одиночного точечного источника.

а - зона переброса факела; в - зона задымления; с - зона постепенного снижения уровня загрязнения; d - зона загрязнения неорганизованными выбросами.

Внутри *зоны переброса* факела высокие концентрации веществ имеют место за счет неорганизованных выбросов.

Зона задымления является наиболее опасной и должна быть исключена из селитебной застройки. Ее размеры в зависимости от метеоусловий находятся в пределах **10-50** высот дымовой трубы. *Максимальная концентрация* загрязняющего вещества в приземном слое атмосферы прямо пропорцио-

нальна массовому расходу загрязняющего вещества M и обратно пропорциональна квадрату высоты источника H^2 .

1.3. Высота начального подъема

Повышение температуры и момента количества движения струи выбрасываемых газов приводит к увеличению высоты дымового факела и снижению приземной концентрации загрязняющих веществ рис.1.2.

При слабом ветре отчетливо видно, что дым из трубы сначала распространяется почти вертикально вверх и только на некотором уровне его движение приобретает горизонтальные составляющие (рис. 1.2).

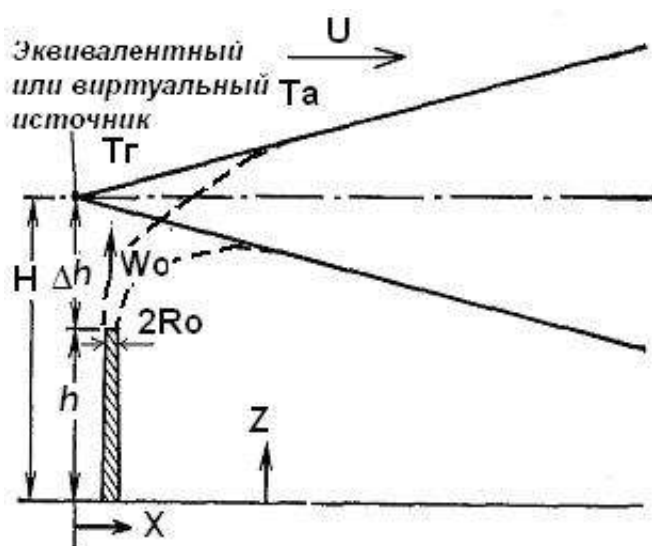


Рис.1.2 – Виртуальный источник с эффективной высотой H .

Это связано с тем, что выбросы из дымовых труб обычно обладают начальной скоростью подъема и перегреты относительно окружающего воздуха. Создается впечатление, что источник примеси приподнят над трубой на высоту Δh (высота начального подъема примеси).

Поэтому в расчетах вместо источника с реальной высотой h следует рассматривать некоторый виртуальный источник с характерной эффективной высотой H :

$$H = h + \Delta h$$

Δh зависит от скорости ветра и перегрева дымовых газов относительно окружающего воздуха.

Значение Δh можно определить с помощью приближенной формулы, полученной на основе экспериментальных данных. При ее разработке использовались фотографии дымовых факелов, полученных в естественных и лабораторных условиях.

$$h = \frac{3.75 w R}{u} + \frac{1.6 g V_1 T}{T_a u^3},$$

где w_0 – скорость газов на выходе из источника, м/с;

R_0 – радиус дымовой струи, м;

u – скорость ветра, м/с;

V_1 – объемный расход дымовых газов, м³/с;

ΔT – перегрев газов относительно окружающего воздуха, °К;

T_a – температура окружающего атмосферного воздуха, °К.

Рассеивание в атмосфере газообразных примесей и мелкодисперсных твердых частиц (диаметр менее 10 мкм), имеющих незначительную скорость осаждения, подчиняется одним и тем же закономерностям. Для более крупных частиц пыли эта закономерность нарушается, т.к. скорость их осаждения под действием силы тяжести возрастает.

Поскольку в пылегазоочистных аппаратах крупные частицы улавливаются более эффективно, чем мелкие, в выбросах после очистки остаются только мелкие частицы и их рассеивание в атмосфере рассчитывают так же, как и газообразные примеси.

2. Климатические условия рассеивания примесей в атмосфере

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

Основными процессами, обеспечивающими перемешивание воздуха в нижней атмосфере, являются: 1) температурный градиент и 2) механическую турбулентность, связанная с взаимодействием ветра с подстилающей поверхностью.

2.1. Ветер

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. При слабых ветрах этот подъем обуславливает уменьшение концентраций примесей у земли. Концентрация примесей у земли 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 ($\omega = 0 \div 1$ м/с) вследствие скопления примесей в приземном слое. Следовательно, при исследовании за-

грязнения воздуха в городе следует учитывать как повторяемость малых скоростей ветра, так и повторяемость «опасной» скорости ветра.

Прямое влияние на загрязнение воздуха в городе оказывает *направление ветра*. Существенное увеличение концентрации примеси наблюдается тогда, когда преобладают ветры со стороны промышленных объектов.

2.2. Температура

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 устойчивыми инверсионными.

2.2.1. Инверсия температуры

Инверсия температуры (инверсионная стратификация) — повышение температуры воздуха с высотой. Если повышение температуры начинается непосредственно от поверхности земли, инверсию называют приземной (радиационная инверсия), если же с некоторой высоты над поверхностью земли — приподнятой (инверсия осадения).

Инверсии затрудняют вертикальный воздухообмен и рассеивание примесей в атмосфере.

Инверсии температуры в нижней тропосфере возникают в результате следующих явлений:

- ⌚ охлаждение земной поверхности вследствие радиационного излучения;

- ⌚ охлаждение приземного слоя за счет затрат тепла на испарении воды или таяние снега;
- ⌚ сток холодного воздуха в пониженные части рельефа;
- ⌚ на побережье морей в теплое время года при морских бризах.

2.2.2. Градиент температуры и устойчивость атмосферы

Любая масса газа при перемещении в атмосфере вверх расширяется, а при перемещении вниз – сжимается в соответствии с распределением давления в атмосфере по вертикали. Если градиент температуры по вертикали равен 1°C на каждые 100 м, эти изменения объема протекают адиабатно, т.е. без

подвода и отвода тепла. При различных метеоусловиях градиент температуры может быть как больше, так и меньше адиабатного значения. При возникновении температурной инверсии он приобретает противоположный знак.

Возможность теплового перемешивания можно определить, сравнив реальный температурный градиент в окружающей среде с адиабатическим вертикальным градиентом температуры. Несколько возможных температурных градиентов в окружающей среде в сопоставлении с адиабатическим градиентом температуры представлено на рис. 2.1.

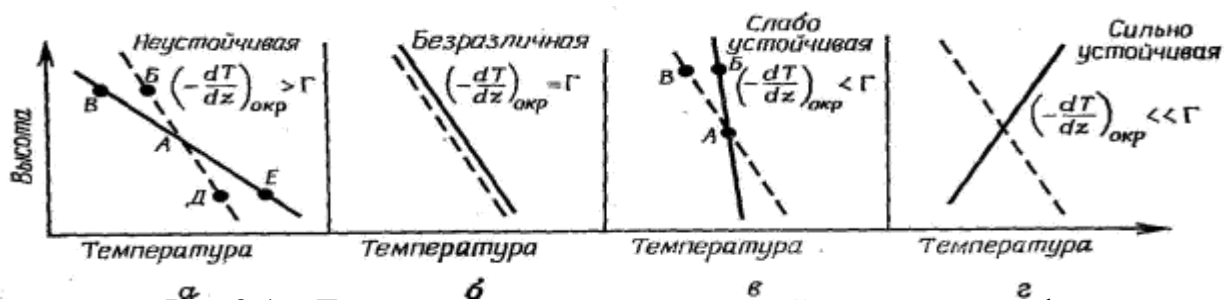


Рис.2.1 – Градиент температуры и устойчивость атмосферы

- фактический градиент температуры в окружающем воздухе,
- — — адиабатический вертикальный градиент температуры.

Когда вертикальный температурный градиент в окружающей среде больше адиабатического градиента Γ , атмосферу называют *сверхадиабатической*. (Это означает, что действительный температурный градиент более отрицателен, чем адиабатический). Рассмотрим точку А на рис.3а, для сверхадиабатического случая. Когда небольшой объем воздуха V с температурой

А переносится быстро вверх (случай турбулентной флуктуации в атмосфере), его расширение хорошо аппроксимируется как адиабатическое. Его конечное состояние может быть описано точкой Б, которая лежит на прямой адиабатического градиента. В этом состоянии температура объема V в точке Б больше, чем температура окружающего воздуха на этой высоте, представленная точкой В, которая лежит на прямой температурного градиента окружающего воздуха. Рассматриваемый малый объем воздуха V , таким образом, имеет меньшую плотность, чем окружающий воздух (то же самое давление, но при более высокой температуре), и имеет тенденцию продолжать движение вверх. Если такой же объем воздуха начнет случайно двигаться вниз, он подвергнется адиабатическому сжатию при температуре Д, которая ниже, чем температура окружающего воздуха Е. Поскольку его плотность больше, рассматриваемый объем будет продолжать движение вниз. Описанные только что условия определяют неустойчивость атмосферы, так как любое возмущение в вертикальном направлении имеет тенденцию усиливаться.

Таким образом, любая атмосфера, для которой характерен сверхадиабатический градиент температуры, является неустойчивой.

Степень устойчивости атмосферы определяет способность атмосферы рассеивать загрязнители. Устойчивость атмосферы определяется отсутствием значительных вертикальных движений и перемешивания.

2.2.2. Градиент температуры и форма струи дыма

Возможные варианты распространения струи дыма из высокого одиночного источника при различных градиентах температуры в приземном слое показаны на рис.2.2.

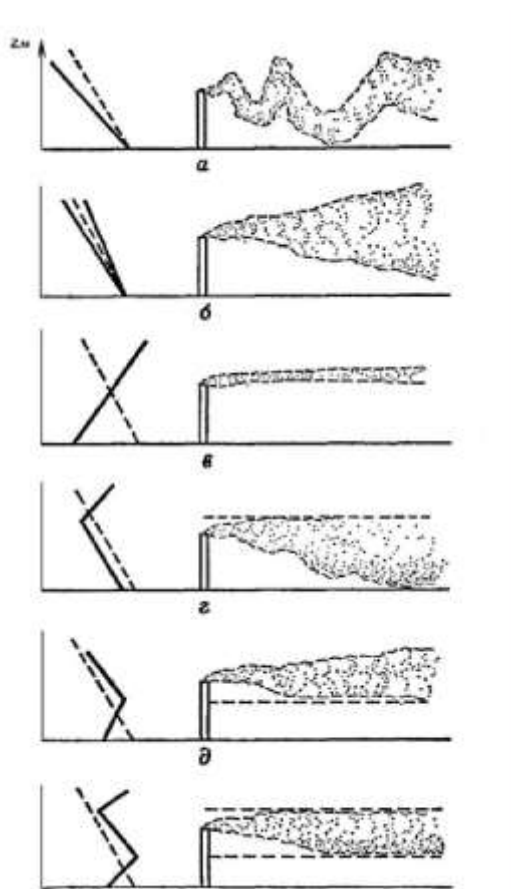


Рис.2.2 -Температурный профиль и форма струи дыма в плоскости XZ:

- адиабатический вертикальный градиент температуры;
 - градиент температуры в окружающем воздухе (фактический).
а — волнообразная струя, сильная неустойчивость;

Сверхадиабатный вертикальный температурный градиент. Сильная конвективная турбулентность. Неустойчивое состояние атмосферы. Возникают клубы дыма, загрязнения интенсивно рассеиваются в больших объемах. На отдельных участках приземного слоя могут оказаться высокие концентрации. Картина характерна для ясных дней при нагревании земной поверхности солнцем, при слабых ветрах.

б — конусообразная струя, устойчивость близка к безразличной;

Малые температурные градиенты. Доминирует мелкомасштабная механическая турбулентность. Атмосферное состояние устойчиво и условия рассеивания загрязняющих веществ менее благоприятны. Дымовой факел имеет форму конуса (половина угла раствора струи составляет $\approx 10^\circ$). Большая часть примесей переносится далеко в направлении ветра, прежде чем в значительной концентрации достигнет уровня земли.

Картина характерна для облачных дней-ночей, при умеренных ветрах. Облачность препятствует притоку солнечной радиации днем и оттоку ее от поверхности земли ночью.

в — веерообразная струя, поверхностная инверсия, сильная устойчивость;

Большой отрицательный градиент температуры. Толстый инверсионный слой. Слабая механическая турбулентность. Струя приобретает веерообразную форму и распространяется горизонтально. Сечение струи приближается к эллиптическому, загрязнения удаляются на большие расстояния. Земной поверхности достигают низкие концентрации примесей.

Картина характерна для безветренных, ясных ночей, когда земля охлаждается, излучая тепло

г — задымляющая струя, приподнятая инверсия выше горловины трубы;

Инверсионный слой расположен выше устья трубы. Он является преградой для рассеивания выбросов. Образуется задымляющая струя, и выбросы газа направляются на землю. Концентрация загрязнений в приземном слое может в десятки раз превышать расчетную.

Картина характерна для раннего утра после ночи с устойчивой инверсией: утреннее солнце нагревает землю, развивается отрицательный температурный градиент в направлении от поверхности земли. При достижении отрицательным градиентом высоты трубы большие объемы выброса, сформи-

рованные в виде веерообразной струи, переносятся к поверхности земли вдоль направления ветра.

д — приподнятая струя, инверсия ниже горловины трубы;

Инверсия заканчивается ниже устья дымовой трубы. Инверсионный слой служит естественной преградой, предотвращающей опускание загрязненной струи на землю. ЗВ рассеиваются в направлении ветра и заметных приземных концентраций не образуется.

Картина характерна для послеполуденного время, раннего вечера при ясном небе. В течение солнечного дня развивается отрицательный температурный градиент в нижнем слое атмосферы. Излучаемое поверхностью земли тепло в позднее послеполуденное время приводит к образованию инверсии вблизи поверхности. При развитии инверсии приподнятая струя переходит в веерообразную.

е — ограниченная струя, инверсии ниже и выше горловины трубы.

При размещении инверсии как выше, так и ниже верхней точки трубы, образуются условия для ограниченной струи. Рассеяние примесей в этом случае происходит только в слое между двумя устойчивыми областями атмосферы.

Если при ослаблении ветра до штиля наблюдается инверсия, то может образоваться **«потолок»**, препятствующий подъему выбросов. Концентрация примесей у земли резко возрастает. Поэтому для состояния атмосферы в городах большую опасность представляет приземная инверсия температуры в сочетании со слабыми ветрами, т.е. ситуация **«застоя воздуха»**.

2.3. Туманы. Осадки. Солнечная радиация

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 интенсивных длительных осадков высокие концентрации примесей в атмосфере практически не наблюдаются.

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

2.4. Показатель загрязнения атмосферы

В ряде случаев требуется детализация или уточнение климатических условий применительно к урбанизированным территориям, поскольку источники промышленных загрязнений расположены, как правило, в городах.

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.

При решении практических задач, связанных с защитой чистоты атмосферы, необходима комплексная оценка климатических условий переноса и рассеивания примесей над заданным географическим районом. Для этого разработан ряд различных показателей. Например, в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова разработан показатель загрязнения атмосферы (ПЗА), представляющий собой отношение средних уровней концен-

траций примеси при заданных выбросах в конкретном C_i и условном C_o районах:

$$\text{ПЗА} = C_i / C_o .$$

ПЗА показывает, во сколько раз средний уровень загрязнения воздуха в конкретном районе, определяемый реальной повторяемостью неблагоприятных для рассеивания примесей метеоусловий, будет выше, чем в условном.

На территории государств СНГ ПЗА изменяется в пределах от 2,1 до 4,0, т.е. при равных параметрах выбросов уровень загрязнения атмосферы в различных городах может отличаться почти в 2 раза за счет разной повторяемости неблагоприятных метеоусловий.

Минимальные значения ПЗА получены для северо-западных районов европейской территории, побережья Белого и Баренцева морей, где отмечается *минимальная повторяемость слабых ветров и приземных инверсий*.

Максимальные значения ПЗА наблюдаются в Восточной Сибири, что связано с мощными зимними антициклонами, обуславливающими слабые ветры и стратификацию атмосферы.

3. Физические основы прогноза загрязнения атмосферного воздуха.

3.1. Теория атмосферной диффузии. Уравнение турбулентной диффузии

Развитие методов прогноза основывается на результатах теоретического и экспериментального изучения закономерностей распространения примесей, выбрасываемых источниками загрязнения атмосферы.

Первое направление изучения распространения примесей состоит в разработке теории атмосферной диффузии на основе математического описания процесса с помощью уравнения турбулентной диффузии. Оно позволяет исследовать распространение примесей от источников различного типа при разных характеристиках среды. В общем виде задача прогноза загрязнения воздуха математически может быть определена как решение при определенных начальных и граничных условиях дифференциального уравнения

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 U_i \frac{\partial C}{\partial X_i} = \sum_{i=1}^3 K_i \frac{\partial^2 C}{\partial X_i^2} - aC,$$

где t - время;

X_i – координаты;

U_i – составляющие средней скорости перемещения примеси;

K_i – составляющие коэффициента обмена; $i=1,2,3$ – направление осей координат;

a – коэффициент, определяющий изменение концентрации за счет превращения примеси.

C – концентрация примеси.

Применив декартову систему координат, обозначим горизонтальные оси X_1 и X_2 через X и Y , вертикальную ось X_3 через Z , соответственно скорости

$U_1=u$; $U_2=v$; $U_3=w$; коэффициенты обмена $K_1=k_x$; $K_2=k_y$; $K_3=k_z$.

Уравнение приобретает вид

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial C}{\partial z} - aC$$

При решении практических задач вид уравнения упрощается. Если ось x сориентирована по направлению средней скорости ветра, то $v = 0$.

Вертикальные перемещения в атмосфере над однородной горизонтальной поверхностью малы и можно считать $w = 0$, если примесь легкая и не имеет собственной скорости перемещения.

Если рассматривается тяжелая примесь, постепенно оседающая в атмосфере под действием гравитационных сил, то w представляет собой скорость осаждения, которая входит в уравнение со знаком минус.

При наличии ветра можно пренебречь членом k_x , учитывающим диффузию по оси X , поскольку в этом направлении диффузионный поток примеси значительно меньше конвективного.

Изменения концентраций в атмосфере со временем носит обычно квазистационарный характер и поэтому можно принять $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$.

Таким образом, последнее уравнение можно свести к виду:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} - w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial C}{\partial z} - aC.$$

В случае легкой примеси:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial C}{\partial z} - aC.$$

При рассмотрении сохраняющейся примеси:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial C}{\partial z}.$$

3.2. Аналитическое решение уравнения диффузии. Особенность распределения наземной концентрации вдоль оси факела

При прогнозе загрязнения воздуха основной интерес представляет определение ожидаемых концентраций в приземном слое $h = 1,2 - 2$ м. ($5 \div 100$ м)

Как показали исследования, в приземном слое воздуха до уровня $z = h$ коэффициент обмена возрастает пропорционально высоте; скорость является логарифмической функцией высоты.

При $z = 0$ (на уровне поверхности земли) можно приближенно принять в качестве предельного значения $k_z = k_0$ – коэффициент молекулярной диффузии для воздуха.

Аналитическое решение уравнения диффузии можно записать для случая, когда u и k_z заданы степенными функциями от z ($u = u_1 z^n$; $k_z = k_1 z$) для легкой сохраняющейся примеси ($w = a = 0$).

Наземная концентрация (при $z = 0$):

$$C = \frac{M}{2(1-n)k_1} \frac{u_1 H^{1+n}}{(1+n)^2 k_1 x - 4 k_0 x} \frac{y^2}{\sqrt{\pi k_0 x^3}} e^{-\frac{y^2}{4 k_0 x}}$$

где M — выброс вещества от источника в единицу времени, мг/с;

H — высота источника выброса, м.

Характерной особенностью распределения наземной концентрации C по оси X является наличие максимума ее C_m на расстоянии X_m от источника.

Результаты расчета распределения концентрации примесей от одиночного точечного источника можно проиллюстрировать графически (рис. 3.1).

Расчеты показывают, что при одинаковых параметрах выбросов максимальная приземная концентрация примеси от более высокого источника меньше и наблюдается на большем расстоянии от источника.

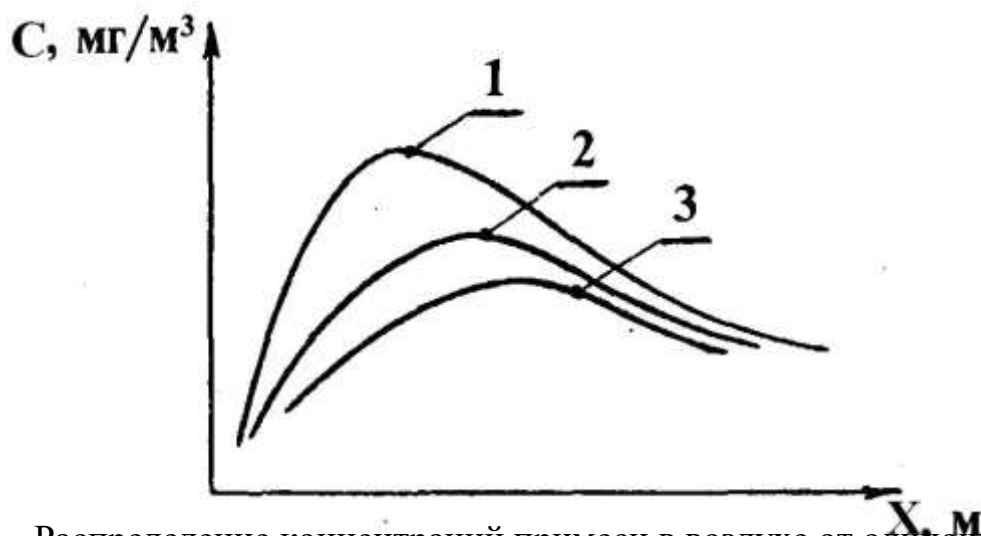


Рис.3.1 – Распределение концентраций примеси в воздухе от одиночного точечного источника различной высоты H : $H_1 < H_2 < H_3$

4. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах предприятий.

Основным документом, регламентирующим рассеивание и определение приземных концентраций примесей из источников выбросов в Украине и России, является «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86».

Методика разработана на базе ряда упрощений и усреднений. В ней отдельные факторы объединены в усредненные группы и численно учитываются комплексными обобщенными коэффициентами.

Методика предназначена для решения практических задач, связанных с прогнозом загрязнения атмосферного воздуха, и использует формулы, полученные на основе решения уравнения турбулентной диффузии.

Методика позволяет производить расчеты рассеивания примесей, выбрасываемых в атмосферу одиночными точечными, линейными источниками и группой источников, с учетом влияния рельефа местности, определять предельные концентрации загрязняющих веществ в двухметровом слое над поверхностью земли, а также вертикальное распределение концентраций.

Степень загрязнения атмосферного воздуха определяется наибольшим расчетным значением концентрации, соответствующим неблагоприятным метеорологическим условиям, опасной скорости ветра.

Для веществ, обладающих суммацией вредного действия, безразмерная суммарная концентрация q (в долях ПДК) и суммарная концентрация C , приведенная к веществу C_1 , рассчитывается с использованием для каждого источника значений мощности M_q и M соответственно:

$$q = C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + \dots + C_n/\text{ПДК}_n;$$

$$M_q = M_1/\text{ПДК}_1 + M_2/\text{ПДК}_2 + \dots + M_n/\text{ПДК}_n;$$

$$C = C_1 + C_2 \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_2} + \dots + C_n \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_n},$$

$$M = M_1 + M_2 \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_2} + \dots + M_n \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_n},$$

где C_1 , ПДК_1 – концентрация и ПДК вещества, к которому осуществляется приведение;

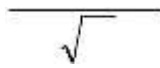
C_2, \dots, C_n и $\text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$ – концентрации и ПДК других веществ, входящих в рассматриваемую группу.

4.1. Расчет загрязнения атмосферы выбросами одиночного источника с круглым устьем

Максимальное значение приземной концентрации загрязняющего вещества C_m , (мг/м^3) при выбросе газовойоздушной смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии X_m и определяется по формуле

$$C_m = \frac{AMFm\eta}{H^2 \sqrt{V}} T, \quad (4.1)$$

$$C_m = \frac{AMFn\eta}{H^{4/3}} * \frac{D}{8V}. \quad (4.1a)$$



Формулу 4.1а применяют для холодных выбросов, т.е. при $T \approx 0$

где A — коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (140÷250 для стран СНГ);

M — масса загрязняющего вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с;

F — коэффициент, учитывающий скорость оседания загрязняющих веществ в воздухе; т,

m, n — коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;

H — высота источника выброса над уровнем земли, м; (для наземных источников принимается $H = 2$ м);

η — коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот не более 50м/км принимается $\eta = 1$);

V_1 — объемный расход газовой смеси, м³/с;

ΔT - разность между температурой выбрасываемой газовой смеси и температурой окружающего воздуха, °С.

Максимальная концентрация загрязняющего вещества в приземном слое атмосферы прямо пропорциональна массовому расходу загрязняющего вещества M и обратно пропорциональна квадрату высоты источника - H^2 .

Коэффициент A при неблагоприятных метеорологических условиях, обеспечивающих максимальные значения концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы, имеет следующие значения на территории Украины:

⌚ для источников севернее 52° с.ш. $A = 160$;

⌚ для источников в зоне от 50 до 52° с.ш. $A = 180$;

⌚ для источников южнее 50° с.ш. — $A = 200$.

При определении ΔT температуру окружающего атмосферного воздуха принимают равной средней температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца года в 13^{00} по местному времени.

Значения коэффициента F :

- ☐ для газообразных загрязняющих веществ и мелкодисперсных аэрозолей, скорость оседания которых близка к нулю, $F = 1$;
- ☐ для прочих мелкодисперсных аэрозолей при степени очистки газов в пылеуловителе $\eta \geq 0,9$ $F = 2$; при $0,75 \leq \eta < 0,9$ $F = 2,5$; при $\eta < 0,75$ $F = 3$;
- ☐ при наличии данных о дисперсном составе пыли в зависимости от соотношения V_g/U_m при $V_g/U_m \leq 0,015$ $F = 1$; при $0,015 < V_g/U_m \leq 0,03$

$F = 1,5$;

где: V_g — скорость витания частиц такого диаметра d_g , что масса всех частиц диаметром больше d_g составляет 5% от общей массы частиц, м/с;
 U_m — опасная скорость ветра, м/с.

Для получения значений коэффициентов m и n определяются следующие промежуточные коэффициенты:

$$f = \frac{1000 w_0^2 D}{H^2 T} ; \quad (4.2)$$

$$V_m = \frac{V_1 T}{\sqrt[0,65]{H}} ; \quad (4.3)$$

$$V_m^* = 1,3 w_0 \frac{D}{H} ; \quad (4.4)$$

$$f_e = 800 (V_m^*)^3 . \quad (4.5)$$

где: D — диаметр устья дымовой трубы, м;

w_0 — скорость выхода газовой смеси из дымовой трубы,

м/с. Коэффициент m определяется по формуле

$$m = \frac{1}{1,47} \sqrt[3]{0,67 + 0,1 f + 0,34 f^2} \text{ при } f < 100, \text{ и } m = \sqrt[3]{f} \text{ при } f \geq 100 \quad (4.6)$$

При $f_e < f < 100$ при расчете m принимают $f = f_e$.

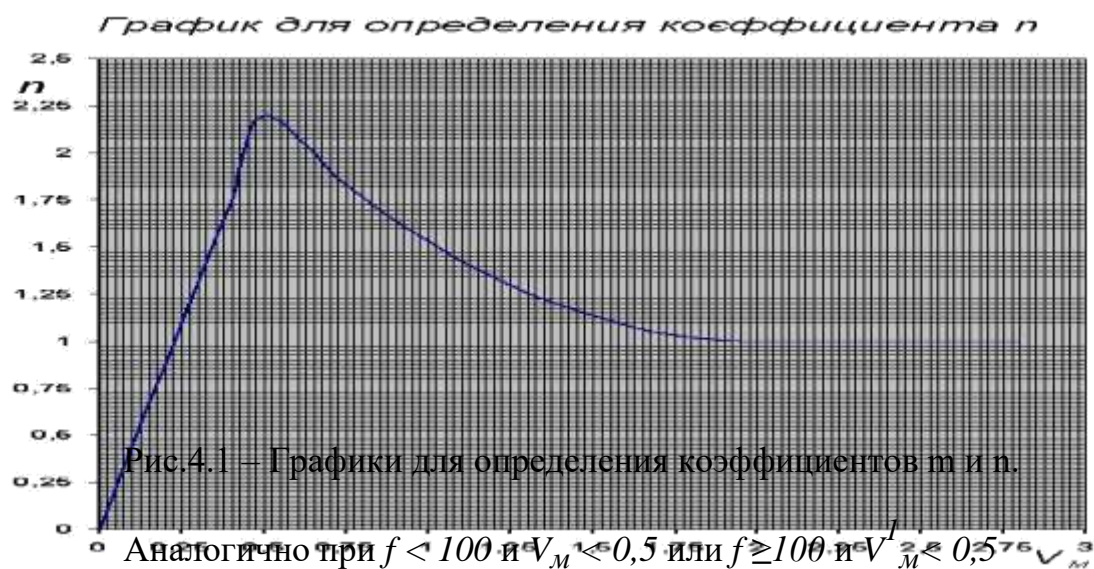
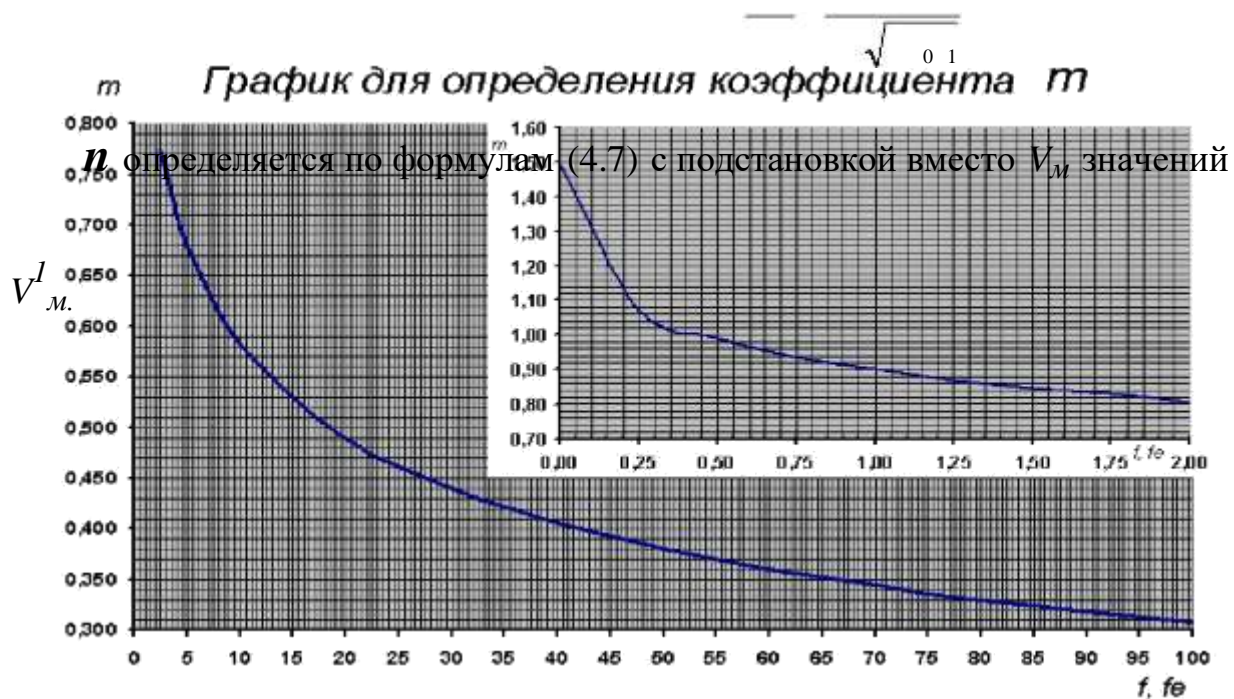
При $f \leq 100$ n определяется в зависимости от V_m :

$$\begin{aligned} n &= 1 && \text{при } V_m \geq 2 \\ n &= 0,532 V_m^2 - 2,13 V_m + 3,13 && \text{при } 0,5 \leq V_m < 2, \\ n &= 4,4 V_m && \text{при } V_m < 0,5 \end{aligned} \quad (4.7)$$

Для определения коэффициентов m и n можно использовать графики, представленные на рисунке 4.1.

При $f \geq 100$ или $T \approx 0$ и $V_m^* \geq 0,5$ (холодные выбросы) при расчете C_m вместо формулы (4.1) применяется (4.1а):

$$C_m = \frac{A M F n \eta K}{H^3}, \text{ где } K = \frac{D}{8 V_1 - 7,1 W V} = 1 ; \quad (4.8)$$



(случаи пре-

дельно малых опасных скоростей ветра) расчет C_m вместо формулы (4.1)

ведется по формуле

$$C_m = \frac{AMFm^1 \eta}{H_3^-}, \quad (4.9)$$

где: $m^I = 2,86m$ при $f < 100, V_m < 0,5$;

$m^I = 0,9$ при $f \geq 100, V_m^I < 0,5$.

Расстояние x_m , м, на котором приземная концентрация C , мг/м³ при неблагоприятных метеоусловиях достигает максимального значения C_m , определяется по формуле

$$x_m = \frac{(5 - F)dH}{4}, \quad (4.10)$$

где d – безразмерный коэффициент рассчитывают по формулам При $f < 100$:

$$d = 2,48(1 + 0,283 f_e) \quad \text{при } V_m \leq 0,5;$$

$$d = 4,95 V_m (1 + 0,283 \sqrt{f}) \quad \text{при } 0,5 < V_m \leq 2;$$

$$d = 7 \sqrt{V_m} (1 + 0,283 \sqrt{f}) \quad \text{при } V_m > 2.$$

При $f > 100$ или $T \approx 0$ значения d находят по формулам:

$$d = 5,7 \quad \text{при } V_m^I \leq 0,5,$$

$$d = 11,4 V_m^I \quad \text{при } 0,5 < V_m^I \leq 2,$$

$$d = 16 \sqrt{V_m^I} \quad \text{при } V_m^I > 2.$$

Значение опасной скорости ветра U_m , при которой достигается наибольшее значение приземной концентрации загрязняющих веществ C_m :

При $f < 100$:

$$U_m = 0,5 V_m \quad \text{при } V_m \leq 0,5;$$

$$U_m = V_m \quad \text{при } 0,5 < V_m \leq 2;$$

$$U_{\text{м}} = V_{\text{м}} (1 + 0,12 \sqrt{f}) \quad \text{при } V_{\text{м}} > 2.$$

При $f \geq 100$ или $T \approx 0$:

$$U_{\text{м}} = 0,5 \quad \text{при } V_{\text{м}}^I \leq 0,5;$$

$$U_{\text{м}} = V_{\text{м}}^I \quad \text{при } 0,5 < V_{\text{м}}^I \leq 2;$$

$$U_{\text{м}} = 2,2 V_{\text{м}}^I \quad \text{при } V_{\text{м}}^I > 2.$$

При опасной скорости ветра $U_{\text{м}}$, (м/с) приземная концентрация загрязняющих веществ C , (мг/м³) в атмосфере по оси факела выброса на расстоянии X от источника определяется по формуле

$$C_x = S_I C_{\text{м}},$$

где S_I – безразмерный коэффициент, который определяется по формулам:

(обозначение в формулах: $a = X/X_{\text{м}}$)

$$S_I = 3a^4 - 8a^3 + 6a^2; \quad \text{при } a \leq 1;$$

$$S_I = \frac{1,13}{0,13a^2 + 1}; \quad \text{при } 1 < a \leq 8;$$

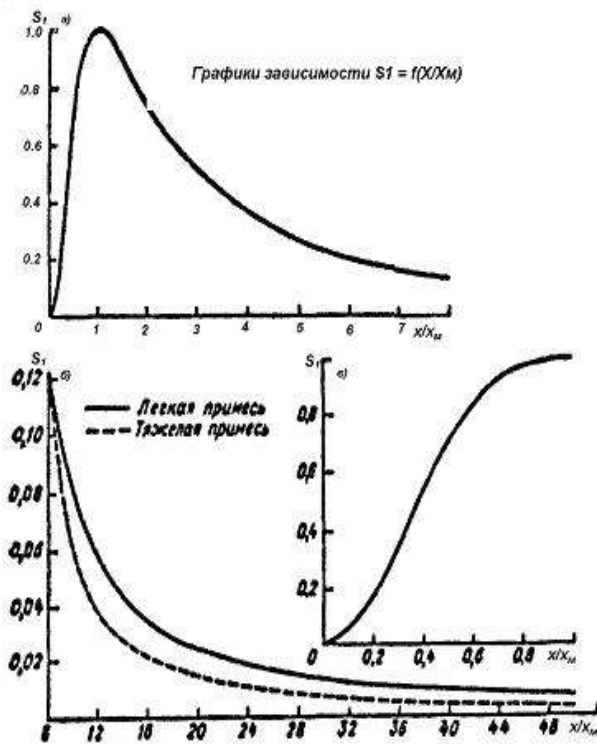
$$S_I = \frac{a}{3,58a^2 - 35,2a + 120}; \quad \text{при } F \leq 1,5 \text{ и } a > 8;$$

$$S_I = \frac{1}{0,1a^2 + 2,47a - 17,8}. \quad \text{при } F > 1,5 \text{ и } a > 8;$$

Безразмерный коэффициент S_I можно определить также из графиков на рис.4.2.

Рис.4.2 – Графики для
определения коэффициента

S_1



Для низких и наземных источников при $2m \leq H \leq 10m$ и $X/X_m < 1$ величина S_1 заменяется на $S_{1H} = 0,125(10-H) + 0,125(H-2)S_1$.

Значения приземной концентрации загрязняющих веществ в атмосфере C_y , mg/m^3 , на расстоянии y , м по перпендикуляру к оси факела выброса определяют по формуле:

$$C_y = S_2 C_x,$$

где S_2 – безразмерный коэффициент (зависит от скорости ветра U и отношения y/x) определяют по значению аргумента t_y по формуле

$$S_2 = \frac{1}{\left(1 + 5t_y + 12,8t_y^2 + 17t_y^3 + 45,1t_y^4\right)^2};$$

$$t_y = Uy^2/x^2 \quad \text{при } U \leq 5;$$

$$t_y = 5y^2/x^2 \quad \text{при } U > 5.$$

4.2. Расчеты загрязнения атмосферы выбросами источника с прямоугольным устьем

Расчеты загрязнения атмосферы при выбросах газовойздушной смеси из источника с прямоугольным устьем (шахты) проводятся по приведенным выше формулам при средней скорости ω_0 и значениях $D=D_э, (м)$ и $V_I=V_{Iэ} (м^3/с)$.

Средняя скорость выхода в атмосферу газовойздушной смеси $\omega_0 (м/с)$

определяется по формуле

$$\omega_0 = \frac{V_1}{Lb},$$

где $L(м)$ — длина устья; $b (м)$ — ширина устья.

Эффективный диаметр устья $D_э (м)$ определяется по формуле:

$$D_э = 2Lb.$$

Эффективный расход выходящей в атмосферу в единицу времени газо-воздушной смеси $V_{Iэ}$ ($\text{м}^3/\text{с}$) определяется по формуле

$$V_{Iэ} = \frac{\pi D^2}{4} \omega \quad (4.11)$$

Радиус зоны влияния для каждого источника рассчитывается как наибольшее из двух расстояний X_1 и X_2 , где $X_1 = 10X_m$, а величина X_2 – определяется как расстояние от источника, начиная с которого $C \leq 0,05$ ПДК.

Значение X_2 находят графически с помощью рисунка 4.2. На вертикальной оси откладывают точку $0,05\text{ПДК}/C_m$, через нее проводится параллельная оси горизонтальная линия до пересечения с графиком функции $S_1 = f(X/X_m)$ за максимумом. Из точки пересечения опускается перпендикуляр на горизонтальную ось. Полученное значение X/X_m умножают на X_m и получают искомое значение X_2 .

4.3. Расчет загрязнения атмосферы выбросами линейного источника

Примером линейного источника может служить аэрационный фонарь цеха:

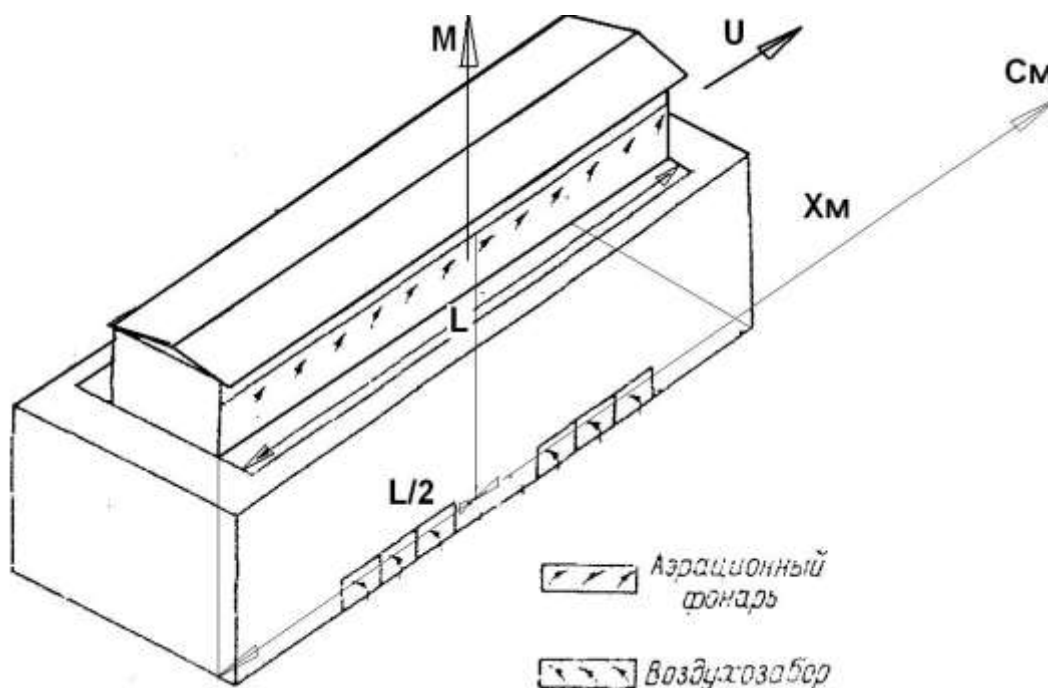


Рис.4.3 – Схема линейного источника – аэрационного фонаря.

При расчете рассеивания выбросов от линейного источника длиной L наибольшая концентрация вредной примеси C_m достигается в случае ветра вдоль источника на расстоянии X_m от проекции его центра на земную поверхность. При рассмотрении аэрационного фонаря (рис.4.3) как линейного источника значения C_m (мг/м³) и расстояния X_m (м) определяются по формулам

$$C_m = S_3 C_m^I ;$$

$$x_m = \frac{L}{2} + S_4 x_m^I$$

$$U_m = U_m^I .$$

Здесь значения C_m^I и X_m^I а также соответствующее им значение U_m^I принимаются равными максимальной концентрации C_m , расстоянию X_m и опасной скорости U_m для одиночного источника той же мощности M с круг-лым устьем диаметром $D_э$ и расходом выбрасываемой газовой-воздушной смеси $V_{1э}$. При этом эффективный диаметр устья фонаря $D_э$ (м) определяется по формуле

$$D_{э} = \frac{2 L V_{1э}}{L w_o V_1} ,$$

где $V_{1э}$ - м³/с - расход выбрасываемой из фонаря в единицу времени газовой-воздушной смеси, w_o (м/с) - средняя скорость выхода из фонаря газовой-

душной смеси. Величина V_{13} определяется по найденному значению D_3 и формуле (4.11).

За высоту источника выброса $H(m)$ принимается высота над уровнем земли верхней кромки фонаря.

Безразмерные коэффициенты S_3 и S_4 определяются в зависимости от отношения L/X_m^I по формулам

$$S_3 = \frac{1 + 0,45 L / X_m^I}{1 + 0,45 L / X_m^I + 0,1(L / X_m^I)^2} ;$$

$$S_4 = \frac{1}{1 + 0,6 L / X_m^I} .$$

При произвольном направлении ветра по отношению к линейному источнику типа аэрационного фонаря этот источник условно представляется в виде группы N одинаковых равноудаленных точечных источников. Для каждого из этих одиночных источников значения максимальной концентрации вредной примеси C_m и соответствующих ей расстояния X_m и опасной скорости U_m определяются как

$$C_m = \frac{C_m^I}{N} ; \quad X_m = X_m^I ; \quad U_m = U_m^I .$$

Число одинаковых равноудаленных одиночных источников N , на которое делится аэрационный фонарь при расчетах, определяется (с округлением до ближайшего большего целого числа) по формуле

$$N = \frac{5L\sqrt{U}}{u x}$$

где X (м) - наименьшее расстояние от аэрационного фонаря до расчетной точки на местности, U - расчетная скорость ветра.

4.4. Расчет загрязнения атмосферы выбросами группы источников и площадных источников

Приземная концентрация вредных веществ в любой точке местности при наличии N источников определяется как сумма концентраций веществ от отдельных источников при заданном направлении и скорости ветра:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_N + C_{\text{ф}}, \quad (4.12)$$

где C_1, C_2, C_N — концентрации вредного вещества соответственно от первого, второго, N -го источников, расположенных с наветренной стороны при рассматриваемом направлении ветра;

$C_{\text{ф}}$ - фоновое загрязнение.

Слагаемое $C_{\text{ф}}$ в правой части уравнения добавляется в случае, когда имеются неучтенные (фоновые) источники выбросов того же вещества или веществ, обладающих с ним эффектом суммации (от других предприятий, других промышленных районов).

В целях ускорения и упрощения расчетов количество рассматриваемых источников выбросов сокращается путем их объединения (особенно мелких

источников) в отдельные условные источники. Подобное объединение возможно при соблюдении определенных условий.

Значение максимальной суммарной концентрации от N расположенных на площадке близко друг от друга одиночных источников, имеющих равные значения высоты, диаметра устья, скорости выхода в атмосферу и температуры газовой смеси, определяется по формуле

$$C_m = \frac{AMF_m n \eta}{H^2} \sqrt{\frac{N}{VT}},$$

где M (г/с) – суммарная мощность выброса всеми источниками в атмосферу;

V (м³/с) – суммарный расход выбрасываемой всеми источниками газовой смеси, определяемый по формуле

$$V = V_1 * N.$$

Значение параметра V_m определяется по формуле

$$V_m = 0,653 \sqrt{\frac{VT}{NH}}$$

В остальном схема расчета концентраций веществ для выбросов от группы близко расположенных источников не отличается от расчета выбросов одиночного источника.

В случае, когда C_m от группы мелких источников по рассматриваемому веществу не превышает 0,05 ПДК, указанные источники могут быть исключены из рассмотрения.

Для ускорения и упрощения расчетов приземных концентраций на каждом предприятии рассматриваются те из выбрасываемых вредных веществ, для которых:

$$\frac{M}{\Phi \cdot \text{ПДК}}$$

$$\Phi = 0,01 \text{ при } H > 10 \text{ м ,}$$

$$\Phi = 0,1 \text{ при } H \leq 10 \text{ м .}$$

где M (г/с) – суммарное значение выброса от всех источников предприятия, соответствующее наиболее неблагоприятным из установленных условий выброса, включая вентиляционные источники и неорганизованные выбросы;

ПДК (мг/м³) - максимальная разовая предельно допустимая концентрация;

H (м) – средневзвешенная по предприятию высота источников выброса.

$$\underline{H} = \frac{5 M_{(0-10)} + 15 M_{(11-20)} + 25 M_{(21-30)} + \dots}{M}$$

$$= \frac{M_{(0-10)}}{M_{(0-10)} + M_{(11-20)} + M_{(21-30)} + \dots},$$

где $M_{(0-10)}$, $M_{(11-20)}$, $M_{(21-30)}$ -суммарные выбросы вещества в интервале

высот источников до 10 м включительно, 11-20м, 21-30м и т.д.

4.5. Решение обратных задач

Решение обратных задач предполагает определение мощности выброса

M и высоты трубы H , соответствующих заданному урону максимальной приземной концентрации C_m при прочих фиксированных параметрах выбросов.

Мощность выброса M г/с, соответствующая заданному значению максимальной концентрации C_m (мг/м^3), определяется по формуле

$$M = C_m H^{2.3} V T$$

$$\frac{M}{A F n \eta} \sqrt{\frac{1}{D}}$$

В случае $f \geq 100$ или $T \approx 0$

$$M = \frac{C_m H^{4.3} 8 V_1}{A F n \eta D}$$

Значение минимальной высоты при горячих выбросах ($T > 0$) первоначально определяется из выражения

3

$$A M F D \eta^4$$

$$H = \frac{10 D}{8 V_1 C_m}$$

Если найденное значение $H \leq w_0 \sqrt{10 D / T}$, то оно является оконча-

тельным. В противном случае предварительное значение минимальной высоты определяется по формуле

$$H = \frac{\sqrt{AMF\eta}}{C_3 V T}$$

По найденному значению H определяются величины коэффициентов f , V_m , V_m^i , f_e по формулам (4.2-4.5) и получают в первом приближении коэффициенты $m = m_1$ и $n = n_1$. Если произведение $m_1 n_1 \neq 1$, то по величинам m_1 и n_1 определяют второе приближение $H = H_2$ по формуле

$$H_2 = H_1 \sqrt{m_1 n_1}$$

В общем случае $(i+1)$ приближение H_{i+1} определяется по формуле

$$H_{i+1} = H_i \sqrt{\frac{m_1 n_1}{m_{i-1} n_{i-1}}}$$

где m_1 и n_1 соответствуют H_1 , а m_{i-1} и n_{i-1} - H_{i-1} .

Уточнение значения H необходимо производить до тех пор, пока найденные значения H_i и H_{i-1} практически будут равны друг другу (с точностью до 1 метра).

5. Учет влияния рельефа местности при расчете загрязнения атмосферы

Влияние рельефа местности на величину максимальной приземной концентрации учитывается безразмерным коэффициентом η .

Значение η устанавливается на основе анализа картографического материала, в радиусе до 50 высот наиболее высокого из размещаемых на площадке источника, но не менее чем до 2 км.

Если в окрестности рассматриваемого источника выбросов (предприятия) имеются отдельные изолированные препятствия, вытянутые в одном направлении (гряда, гребень, ложбина, уступ), то поправочный коэффициент на рельеф η определяется по формуле:

$$\eta = 1 + \phi_1 (\eta_m - 1)$$

где η_m – безразмерная величина, зависит от форм рельефа и определяется по таблице 5.1 в зависимости от величин n_1 и n_2 :

$$n_1 = H/h_0 \quad (n_1 \text{ определяется с точностью до десятых});$$

$$n_2 = a_0/h_0 \quad (n_2 - \text{с точностью до целых});$$

где H - высота источника;

h_0 - высота (глубина) препятствия, м;

a_0 - полуширина гряды, холма ложбины или протяженность бокового склона уступа;

x_0 - расстояние от середины препятствия в случае гряды или ложбины и от верхней кромки склона в случае уступа до источника (рис. 5.1).

Значение функции ϕ_1 определяется в зависимости от отношения $|x_0|/a_0$ по графикам (см. рис. 5.1), соответствующим различным формам рельефа.

Если препятствие представляет собой отдельный холм или ложбину (впадину), то h_0 выбирается соответствующим максимальной (минимальной) отметке препятствия, а n_2 - максимальной крутизне склона, обращенного к источнику.

Для источников выброса, расположенных в зоне влияния нескольких изолированных препятствий, определяются значения η для каждого препятствия и в расчете используется максимальное из них.

Учет влияния рельефа местности при определении расстояния X_m , где достигается максимум приземной концентрации, осуществляется путем умножения коэффициента d в формуле (4.10) на отношение:

$$1,1 \sqrt{\eta + 0,2}, \quad (5.1)$$

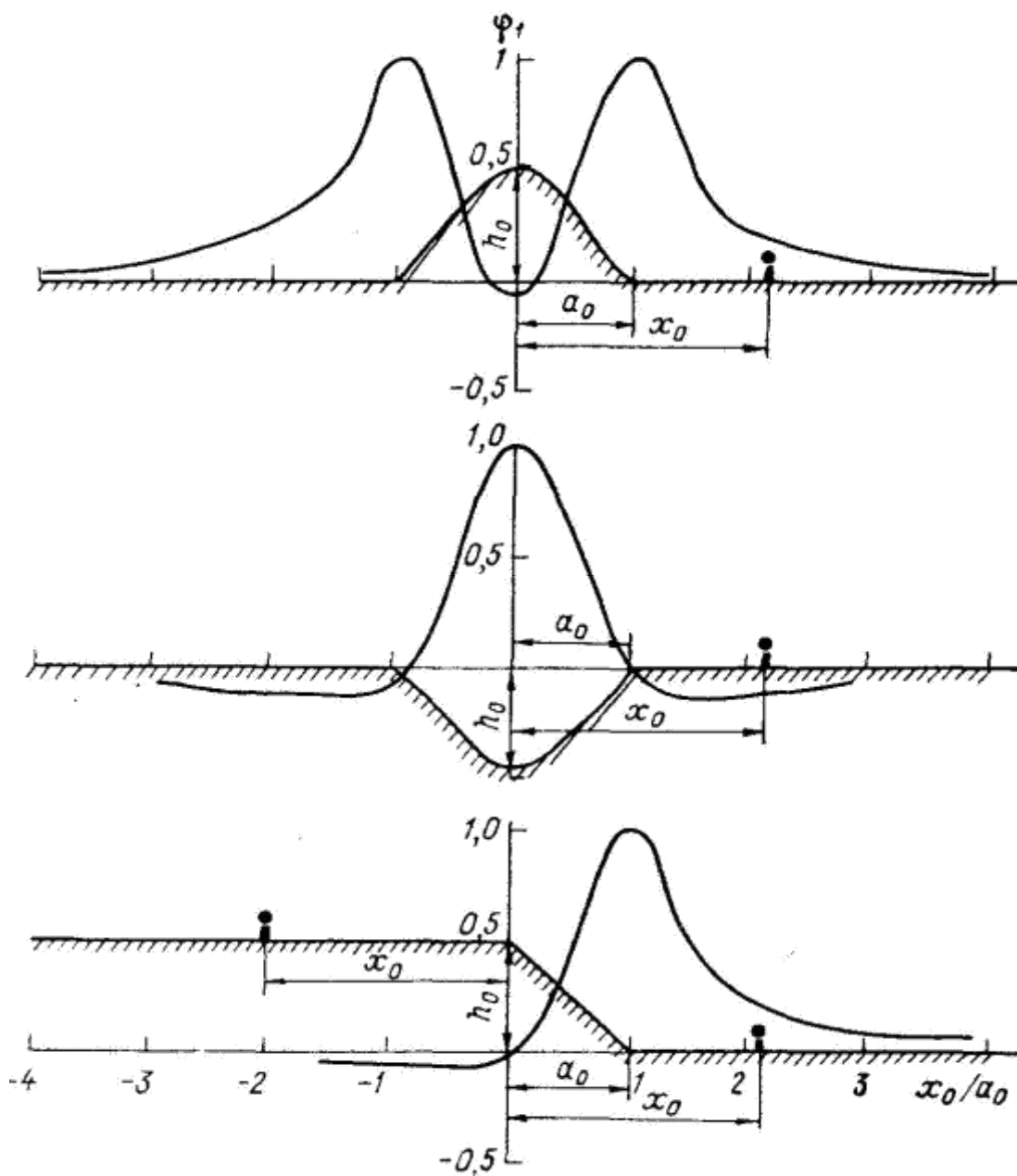


Рис.5.1 – Значения функции ϕ в зависимости от (x_0/a_0)

Таблица 5.1-Значения коэффициента η_m

n_1	Ложбина (впадина)				Уступ				Гряда (холм)			
	n_2											
	4-5	6-9	10-15	16-20	4-5	6-9	10-15	16-20	4-5	6-9	10-15	16-20
<0,5	4,0	2,0	1,6	1,3	3,5	1,8	1,5	1,2	3,0	1,5	1,4	1,2
0,6-1	3,0	1,6	1,5	1,2	2,7	1,5	1,3	1,2	2,2	1,4	1,3	1,0
1,1-2,9	1,8	1,5	1,4	1,1	1,6	1,4	1,2	1,1	1,4	1,3	1,2	1,0
3-5	1,4	1,3	1,2	1,0	1,3	1,2	1,1	1,0	1,2	1,2	1,1	1,0
>5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

При расчете приземных концентраций по оси факела на различных расстояниях от источника по формуле $C_x = S_I C_M$ отношение X/X_M определяется с учетом поправки (5.1) для значений $X < 6,2 X_M^{(0)}$ и $\eta - 1$ ($X_M^{(0)} = X_M$ при $\eta = 1$)

– условия ровной или слабо пересеченной местности),.

Для больших значений X при вычислении X/X_M используют значения

$$X_M = X_M^{(0)}.$$

6. Фоновые концентрации загрязняющих веществ

в атмосферном воздухе

Фоновая концентрация - статистически достоверная максимальная концентрация, C_{ϕ} , мг/м³. Она является характеристикой загрязнения атмосферы

и определяется как значение концентрации, которое превышает не более чем в 5% случаев от общего количества наблюдений.

C_{ϕ} характеризует суммарную концентрацию, создаваемую всеми источниками, расположенными на данной территории.

C_{ϕ} устанавливается для каждого вещества по данным наблюдений. При отсутствии необходимых данных наблюдений фоновая концентрация может быть определена расчетным путем.

6.1 Период определения C_{ϕ} . Обработка данных результатов наблюдений

Определение C_{ϕ} для каждого поста наблюдений производится по данным за период от 3 до 5 лет (не менее 3-х лет) . Выбранный период должен соответствовать следующим условиям:

1. *число наблюдений* в течение года должно быть не менее 200 по каждому веществу, а общее число наблюдений за выбранный период - не менее 800;
2. *методики отбора и анализа* проб должны быть неизменными;
3. *расположение поста наблюдений* не менялось;
4. *характер застройки* в районе наблюдательного поста существенно не изменялся;
5. *существенных изменений* в характеристиках промышленных выбросов в радиусе 5 км от поста не происходило;

Для определения C_{ϕ} могут быть использованы данные как стационарных, так и подфакельных постов наблюдений.

В результате обработки данных для каждого поста по всему массиву результатов наблюдений находят величины C_{fi} (где: $i = 0;1;2;3;4$), соответствующие различным градациям направления α и скорости ветра W (табл.6.1).

Таблица 6.1- Градации i по направлению и скорости ветра

Значения i в зависимости от скорости и направления ветра						
α	Румбы	любой	С	В	Ю	З
	десятки градусов	любые	32÷4	5÷13	14÷22	23÷31
$W, \text{ м/с}$		0÷2	$3 \div W^*$			
i		0	1	2	3	4

Верхняя граница скорости ветра W^* определяется из условия, что скорость ветра в данном месте $W > W^*$ встречается в 5% случаев.

При определении C_{fi} для каждой из пяти градаций скорости и направления ветра значения концентраций q_k (k - номер концентрации в i -ой градации) вписываются в таблицу, после чего определяется число наблюдений в каждой градации n_i , которое для дальнейшей обработки должно быть не менее

100. Если $n_i < 100$, то значение C_{fi} , считается ориентировочным.

Данные подфакельных наблюдений группируются по зонам, которые соответствуют расстояниям от источника выбросов. Количество наблюдений в каждой зоне должно быть не менее 200. Данные для каждой зоны делятся на две градации по скорости ветра: $i=0$ соответствует скорости ветра 0÷2 м/с; $i=1$ соответствует скорости ветра $3 \div W^*$ м/с.

Отдается предпочтение $C_{ф}$, полученным по подфакельным измерениям, для тех участков города, где их величины больше, чем $C_{ф}$, рассчитанные по данным наблюдений на стационарных постах.

6.2. Методы определения фоновых концентраций

Фоновая концентрация $C_{\text{ф}}$, может определяться одним из статистических расчетных методов либо графически.

6.2.1. Расчетный метод

При определении $C_{\text{ф}}$ расчетным методом для каждой градации i сначала вычисляется среднее значение концентрации по формуле

$$\bar{q}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} q_k,$$

где $\sum_{k=1}^{n_i} q_k$ - сумма всех значений концентраций, попавших в градацию i .

Для каждой градации i рассчитывается для концентрации среднее квадратичное отклонение S_i и коэффициент вариации V_i :

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n_i} (q_k - \bar{q}_i)^2}{n_i - 1}}, \quad V_i = \frac{S_i}{\bar{q}_i}.$$

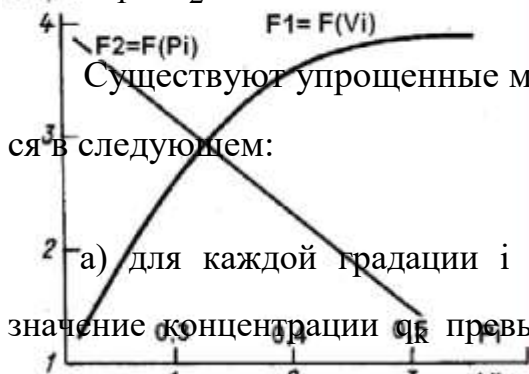
Величина $C_{\text{ф}}$ определяется по формуле

$$C_{\text{ф}i} = \bar{q}_i F_1(V_i),$$

где $F_1(V_i)$ - функция F_1 от V_i , показанная на рис.6.1.

Рис.6.1 – График для определе-
График для определения F_1, F_2

Функция F_1 и F_2



Существуют упрощенные методы определения $C_{ф.}$, которые заключаются в следующем:

а) для каждой градации i определяется число наблюдений, в которых значение концентрации q_k превышало среднюю концентрацию в данной градации q_i , а также повторяемость P_i случаев превышения среднего значения q_i :

$$P = \frac{m_i}{n_i}$$

Фоновая концентрация определяется по формуле

$$C_{fi} = q_i F_2(P_i),$$

где $F_2(P_i)$ - функция F_2 от P_i , показанная на рис.6.1.

б) Метод «размаха». Среднеквадратичное отклонение рассчитывается по приближенной формуле

$$S = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{k}$$

где q_{\max} и q_{\min} – максимальная и минимальная концентрация в градации;

k – коэффициент, зависящий от числа наблюдений. (см. рис.6.2).

Рис.6.2 – График для определения k
График для определения k



6.2.2 Графический метод

Графический метод определения фоновой концентрации состоит в том, что для каждой градации i концентрации наносятся на график в зависимости от скорости ветра W . Определяется количество значений концентрации примеси n_i , относящееся к данной градации i . Строится огибающая плавная линия, выше которой может находиться 5% от общего количества точек n_i . С построенной огибающей снимается максимальное значение, которое принимается за $C_{фi}$ (рис.6.3).

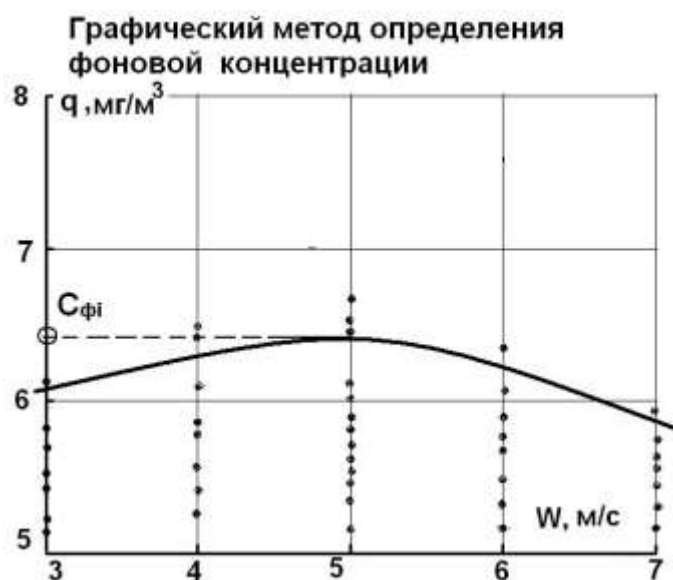


Рис.6.3 – График для определения фоновой концентрации

6.3. Оценки значимости различий C_{ϕ} и исключение вклада предприятия

Для проведения оценки значимости различий C_{ϕ} для различных града-

ций рассчитываются значения фоновой концентрации: \underline{C} - среднее по пяти

~

градациям и \bar{C} - среднее по четырем градациям (без градации $i = 0$ для ско-
рости ветра $0 \div 2$ м/с):

$$\begin{aligned} & \sum_{i=0}^4 C_{\phi i} n_i \quad \sim \quad \sum_{i=1}^4 C_{\phi i} n_i \\ & \underline{C} = \frac{\sum_{i=0}^4 C_{\phi i} n_i}{\sum_{i=0}^4 n_i} ; \quad \bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^4 C_{\phi i} n_i}{\sum_{i=1}^4 n_i} \end{aligned}$$

5

где $\sum_{i=1}^5 C_{\phi i} n_i$ - сумма пяти произведений $C_{\phi i}$ для каждой градации на ко-

$i=1$

личество измерений в данной градации n_i .

Если максимальное и минимальное значение $C_{\phi i}$ при $i=0,1,2,3,4$ удовле-
творяют неравенству

$$\left| C_{\phi i} - \bar{C} \right| \leq 0,25 \bar{C} , \quad (6.1)$$

то для такого поста в качестве C_{ϕ} принимается значение \underline{C} независимо
от направления и скорости ветра.

Если условие (6.1) не выполняется, но минимальное и максимальное значения $C_{\phi i}$ при $i=1,2,3,4$ удовлетворяют неравенству

$$\left| C_{\phi i} - \tilde{C} \right| \leq 0,25 \tilde{C}, \quad (6.2)$$

то для данного поста принимаются два значения фона: одно - для градации

~

скорости ветра $0 \div 2$ м/с, другое - для скорости ветра $3 \div W^*$ м/с (значение C).

Когда условия (6.1) и (6.2) не выполняются, C_{ϕ} представляется пятью значениями.

Для учета суммации вредного действия нескольких загрязняющих веществ допускается определение *единой величины фона* по этим веществам. При этом для каждого пункта наблюдения и момента времени концентрация n веществ приводится к концентрации наиболее распространенного из них вещества.

Например, при суммации воздействия SO_2 и NO_2 :

$$q_{SO_2 + NO_2} = q_{SO_2} + q_{NO_2} \frac{ПДК_{NO_2}}{ПДК_{SO_2}} \quad (6.3)$$

2

Дальнейшая обработка результатов проводится так же, как и в случае одного вещества.

При проектировании промышленных предприятий и установлении ПДВ данные о распределении фоновой концентрации по территории населенного пункта представляются в табличной форме.

В отдельных случаях можно ограничиться средним значением C_{ϕ} по городу. Для этого вычисляется среднее значение C_{ϕ} по городу для каждой градации скорости и направления ветра. Для тех постов, для которых в рассматриваемой градации $C_{\phi i}$ отличается от среднего по городу менее, чем на 25%, оно заменяется на среднюю по городу величину C_{ϕ} .

При установлении ПДВ для реконструируемых или действующих предприятий исключение из C_{ϕ} вклада рассматриваемого предприятия производится по формулам

$$C_{\phi} = C_{\phi} - 0,4 \frac{C}{C_{\phi}} \quad \text{при } C \leq 2C_{\phi};$$

$$C_{\phi} = 0,2C_{\phi} \quad \text{при } C > 2C_{\phi},$$

где C_{ϕ} - фоновая концентрация без учета рассматриваемого предприятия;

C — максимальная концентрация, создаваемая предприятием в месте размещения поста.

7. Разработка нормативов ПДВ (ВСВ) для стационарных источников

Для каждого проектируемого и действующего объекта, являющегося стационарным источником загрязнения воздушного бассейна, устанавливаются нормативы предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

ПДВ устанавливают из условия, что выбросы вредных веществ от данного источника в совокупности с другими источниками не создают приземную концентрацию, превышающую ПДК за пределами санитарно-защитной зоны:

$$C + C_{\text{ф}} \leq \text{ПДК},$$

где C - концентрация вещества в приземном слое от расчетного источника; $C_{\text{ф}}$ — фоновая концентрация этого же вещества.

Если на данном предприятии (группе предприятий), расположенных в одном районе, значения ПДВ по объективным причинам не могут быть немедленно достигнуты, устанавливают временно согласованный выброс - ВСВ. Норматив ВСВ устанавливают на период разработки и реализации воздухоохраных мероприятий, обеспечивающих достижение нормативов ПДВ.

Срок действия норматива ПДВ, как правило, не превышает 5 лет. При появлении новых производств, реконструкции действующих, изменении технологического процесса или в других случаях *изменения характеристик выбросов* нормативы ПДВ подлежат пересмотру.

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.

Расчет нормативов ПДВ производится на ЭВМ по специально разработанным программам, утверждаемым Министерством охраны окружающей среды.

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

Разработка нормативов ПДВ производится для всех предприятий, имеющих выбросы в атмосферу. Нормативы ПДВ являются основой для выбора мероприятий по защите атмосферы.

7.1. Исходные данные для разработки нормативов и пояснительная записка к нормативам

Исходные данные для разработки нормативов состоят из двух разделов:

1. характеристика района размещения предприятия;
2. характеристика предприятия как источника загрязнения атмосферы (существующее положение и перспектива).

Характеристика района размещения предприятия представлена ситуационной картой-схемой. При определении радиуса охвата карты-схемы должны быть учтены:

зона влияния предприятия, (зона влияния источника: $X_1=10X_M$; $X_2(C \leq 0,05 \text{ ПДК})$);

высота наиболее высоких источников («вторичная волна приземных концентраций» обычно имеет место на расстоянии 15-20 Н при Н=60-120м; коэффициент η определяют на основе анализа картографического материала в радиусе до 50 Н м, но не менее 2 км);

необходимость оценки влияния предприятия на удаленный конкретный объект (за пределами п.1,2);

На ситуационную карту-схему района размещения предприятия наносят:

1. габариты предприятия (существующее положение и перспектива);
2. контуры жилых районов и перспективной застройки;
3. водоемы;

4. контуры зон отдыха;
5. контуры соседних предприятий;
6. контуры СЗЗ;
7. школы, детские оздоровительные учреждения в пределах СЗЗ;
8. местоположение постов контроля за состоянием атмосферного воздуха;
9. систему координат (заводская или общегородская);
10. изолинии с указанием отметок высот (в случае перепадов высот более 50 м на 1 км).

На плане-схеме предприятия указывают:

1. упрощенные габариты зданий;
2. расположение источников и их нумерацию;
3. контуры СЗЗ;
4. координатную сетку;

Исходные данные по характеристике источников выбросов содержатся в отчете по инвентаризации источников выбросов предприятия.

Пояснительная записка к нормативам ПДВ должна содержать следующие основные разделы:

Общие сведения о предприятии;

Краткая характеристика предприятия как источника загрязнения атмосферы;

Результаты проведения расчетов ПДВ;

Предложения по нормативам ПДВ (ВСВ) на существующее положение и перспективу;

Перечень необходимых мероприятий для достижения ПДВ;

Обоснование принятого размера СЗЗ;

Контроль соблюдения нормативов ПДВ на предприятии (график контроля, перечень источников, подлежащих контролю; периодичность контроля).

ПДВ устанавливается для условий полной нагрузки технологического и газоочистного оборудования и их нормальной работы. ПДВ не должен превышать в любой 20-минутный период времени.

Наряду с максимальным разовым значением ПДВ в г/с устанавливаются годовые значения ПДВ в т/год для отдельных источников и предприятия в целом.

По результатам расчета нормативов ПДВ для каждого стационарного источника выбросов устанавливается суммарный предельный выброс предприятия в целом.

При непостоянстве во времени выбросов от отдельных источников ПДВ предприятия меньше суммы ПДВ от отдельных источников и соответствует максимально возможному суммарному выбросу от всех источников предприятия.

8. Гауссова модель рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

8.1. Общая характеристика Гауссова или нормального распределения:

Переменная X нормально распределена, если выполняется соотношение для функции плотности $f(x)$:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right),$$

где μ – любое действительное число;

σ – стандартное отклонение (любое действительное число больше нуля);

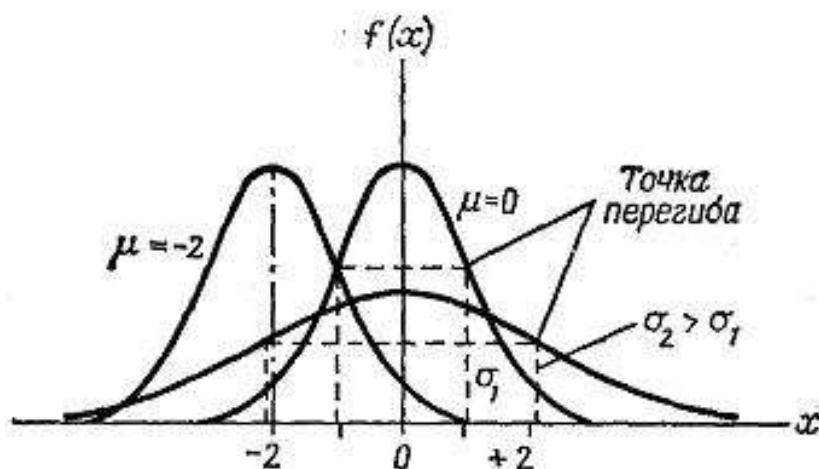


Рис.8.1 – Гауссово (нормальное) распределение
для различных значений μ и σ

μ – определяет положение максимального значения $f(x)$ на оси x ;

Функция Гауссова распределения в нормированном виде – площадь, ограниченная кривой, равна единице.

σ – расширяет или сжимает колоколообразную кривую (площадь под кривой всегда равна единице).

В общем случае около 68% площади под кривой находится в интервале между $+\sigma$ и $-\sigma$, а около 95% - между $\pm 2\sigma$.

Этот рост ширины функции распределения с увеличением σ имеет важный физический смысл при изучении рассеяния загрязнителей в атмосфере.

Таким образом, μ и σ являются характеристиками положения и формы кривой Гауссова распределения.

Уравнения для рассеяния загрязнителей будут иметь вид двойного гауссова распределения. Двойное Гауссово распределение относительно двух координат, (y и z), определяется простым перемножением двух Гауссовых распределений по каждой из координатных осей. Следовательно:

$$f(y, z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{(y - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z - \mu_z)^2}{2\sigma_z^2}\right].$$

8.2. Основное уравнение рассеивания примесей в Гауссовой теории

Все модели оценки рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере сводятся к одной и той же функции распределения концентрации загрязнителя — Гауссова распределения.

Агентство охраны окружающей среды США использует в качестве основы модели рассеивания статистическую (Гауссову) теорию.

Мелкие частицы и газовые примеси рассеиваются в атмосфере по законам нормального распределения.

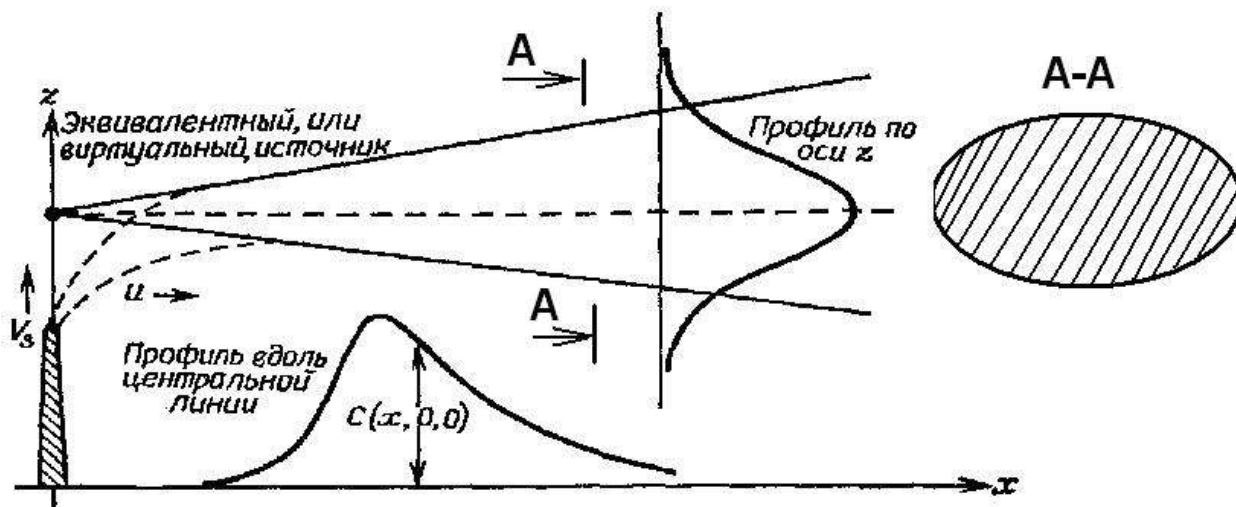


Рис.8.2 – Профили концентраций вдоль центральной линии X и вдоль оси Z

Струя дыма распространяется вдоль (параллельно) оси X. Овальные фигуры являются сечением упрощенной струи. Профили концентраций подчиняются законам нормального распределения (рис.8.2).

Основное уравнение рассеяния в Гауссовой теории имеет вид:

$$C(x, y, z, H) = \frac{M}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right]$$

где С - концентрация в некоторой М – мощность выброса, г/с;

$$\exp \frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2} + \exp \frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}, \quad (8.1)$$

точке с координатами x ; y ; z ; г/м³;

H – высота виртуального источника (сумма геометрической высоты трубы и начального подъема струи), м;

u - средняя скорость ветра, м/с;

8.2.1. Принятые допущения

При рассмотрении Гауссовой струи приняты следующие допущения:

1. рассеяние струи в горизонтальной и вертикальной плоскостях описывается гауссовым распределением со стандартными отклонениями распределения концентраций σ_y и σ_z по осям y и z соответственно;

2. действующая на струю средняя скорость ветра u является постоянной во всем слое распространения струи, направление ветра не меняется;

3. мощность выброса постоянна;

4. имеет место отражение струи от поверхности земли, т.е. нет осаждения или взаимодействия струи с подстилающей поверхностью;

8.2.2. Отражение струи от поверхности земли

Отражение струи от поверхности земли иллюстрирует приведенный ри-сунок 8.3.

Из рис.8.3 видно, что отражение на некотором расстоянии X математически эквивалентно наличию зеркального отражения источника с ординатой $-H$. Затененная площадь после точки I на диаграмме показывает область атмосферы, в которой концентрация увеличивается сверх той, которая соответствует источнику с высотой H .

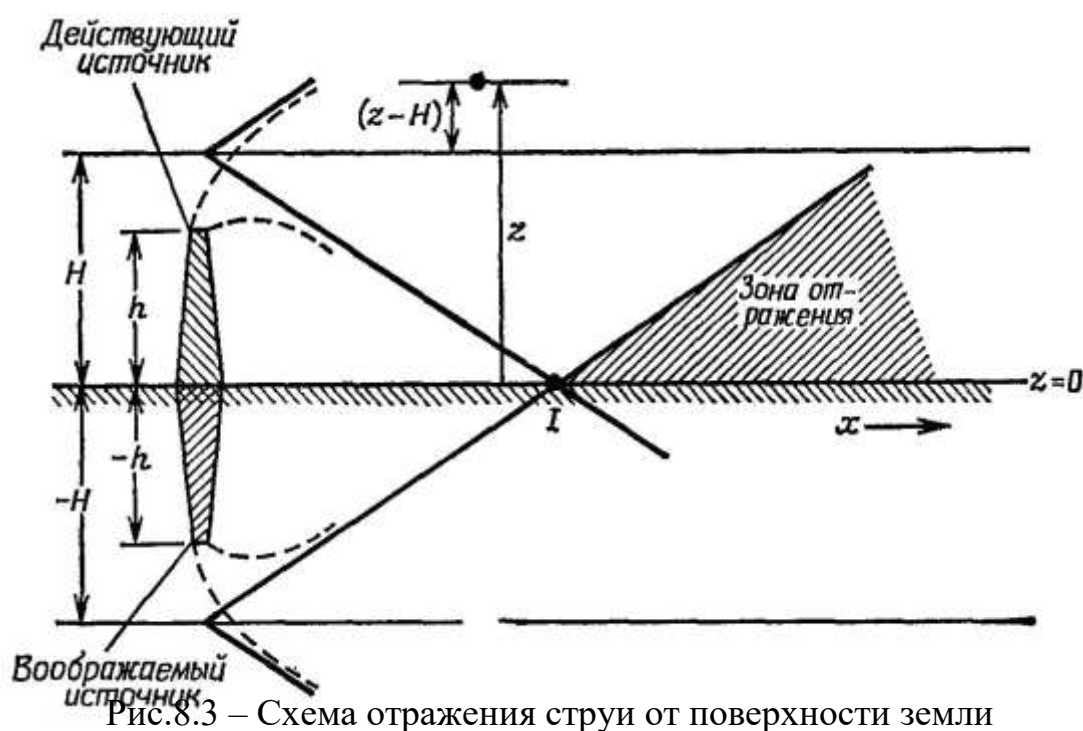


Рис.8.3 – Схема отражения струи от поверхности земли

Это увеличение концентрации определяется математически линейной суперпозицией двух кривых Гауссова типа, одной с центром на высоте H и другой - на высоте $-H$. Это эквивалентно объединению двух уравнений: одно из них содержит член $(z+H)$, другое - член $(z-H)$. В итоге уравнение для концентрации для приподнятого источника с учетом отражения будет иметь вид, соответствующий формуле (8.1).

8.3. Частные случаи расчета приземных концентраций

Для расчета концентрации у поверхности земли (координата $Z=0$) уравнение (8.1) приобретает вид:

$$C(x, y, 0, H) = \frac{M}{\pi \sigma_y \sigma_z} \exp \left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2} \right)$$

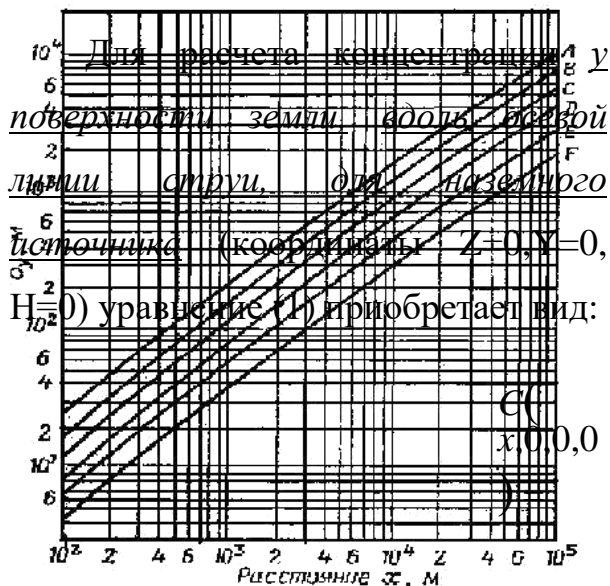
Для расчета концентрации у поверхности земли, вдоль осевой линии струи (координаты $Z=0, Y=0$) уравнение (8.1) приобретает вид:

50

$$C(x, 0, 0, H) = \frac{M}{\pi y z \sigma \sigma}$$

$$\frac{-H^2}{\exp^2}.$$

$$2\sigma_z$$



8.4. Практическое использование уравнений Гауссовой теории

Для практического использования приведенных уравнений помимо физических данных (координаты, мощность выброса, эффективная высота источника) необходимо также знать величины u , σ_y , σ_z .

Обычно используют значение скорости u , усредненное по всей струе. Из-за трудностей её определения принимают среднюю скорость ветра на уровне горловины трубы.

Коэффициент боковой (поперечной) диффузии σ_y характеризует собой горизонтальное расширение струи в направлении, перпендикулярном направлению движения.

Коэффициент вертикальной диффузии σ_z характеризует собой расширение струи по вертикали.

Значения σ_y , σ_z (горизонтальное и вертикальное стандартное отклонение) зависят от положения точки X в направлении ветра от источника и от условий устойчивости атмосферы.

Значения σ_y , σ_z определяют по диаграммам, полученным экспериментальным путем.

Рис.8.4 – Стандартное отклонение σ_y
в горизонталь-ном направлении

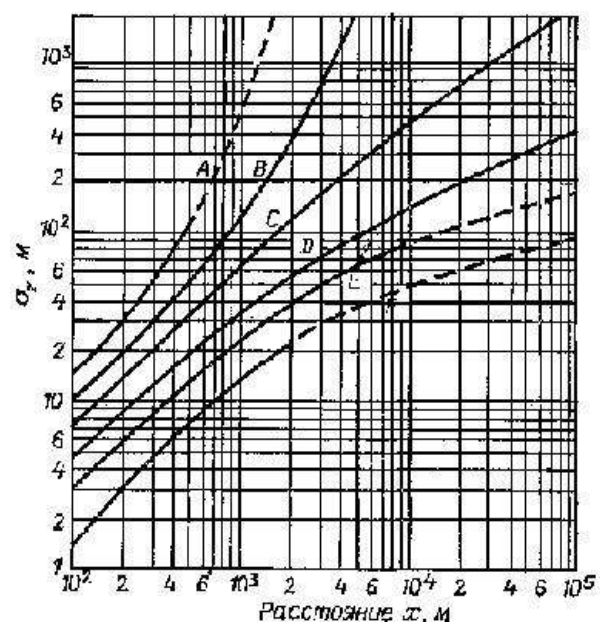


Рис.8.5 –Стандартное отклонение σ_z

ввертикальном направлении

A,B,C,D,E,F – различные классы устойчивости атмосферы:

A – соответствует наибольшей неустойчивости (ясное небо, высота солнца над горизонтом более 60° , типичный летний солнечный день после полудня. Очень конвективная атмосфера);

F – соответствует наибольшей устойчивости.

При оценке рассеяния газов обычно выбирают такой класс устойчивости, типичный для данного района который дает наихудшие характеристики с точки зрения загрязнения атмосферы.

9. Система контроля качества атмосферного воздуха в городах. АСКЗВ

Мониторинг атмосферного воздуха - слежение за его состоянием и предупреждение о критических ситуациях, вредных или опасных для здоровья людей и других живых организмов.

Для обеспечения мониторинга в развитых странах созданы автоматизированные системы контроля загрязнения воздуха (АСКЗВ).

Задачи, решаемые АСКЗВ:

- *автоматическое наблюдение и регистрация концентраций загрязняющих веществ;*
- *анализ полученной информации с целью определения фактического состояния загрязнения воздушного бассейна;*
- *принятие экстренных мер по борьбе с загрязнением;*
- *прогноз уровня загрязнения;*
- *выработка рекомендаций для улучшения состояния окружающей среды;*

- *уточнение и проверка расчетов рассеивания примесей.*

АСКЗВ рассчитаны на измерение концентраций одного или нескольких ингредиентов из следующего ряда: SO_2 ; CO ; NO_x , O_3 , C_mH_n , H_2S , NH_3 , взвешенные вещества. Наряду с замерами концентрации обычно проводят определение влажности, температуры, направления и скорости ветра.

АСКЗВ промышленно развитых стран оснащены приборами на основе сенсоров. Различают электрохимические, амперометрические, полупроводниковые, пьезокварцевые, фотометрические сенсоры с использованием волоконной оптики и индикаторных трубок, биосенсоры, сенсоры на поверхностно-активных волокнах и др.

АСКЗВ функционируют на уровне отдельных предприятий, города, региона, а также на национальном и межгосударственном уровнях.

Одна из первых АСКЗВ создана в США, в Чикаго в 1965 году. Сейчас эта система включает около 50 автоматических контрольно-измерительных станций, измеряющих концентрацию CO , скорость и направление ветра. Каждые 15 мин осуществляется ввод данных в ЭВМ.

При превышении пороговых концентраций подается сигнал «тревога» (при фиксировании превышения установленного уровня концентрации в течение 4-х часов или при неблагоприятном метеопрогнозе на ближайшие 12 часов).

Сигналу «тревога» предшествует «режим особого наблюдения», объявляемый при прогнозировании застоя воздуха в течение ближайших 24 часов или при превышении среднего значения концентрации ингредиента за 2 часа определенного уровня.

Формируемый системой «индекс загрязнения» ежедневно передается по радио, телевидению, публикуется в прессе.

Используется *четыре оценки качества* воздуха: хорошее, удовлетворительное, неудовлетворительное и опасное для здоровья.

Работы по АСКЗВ в США координирует Федеральное агентство по охране окружающей среды (ЕРА). В настоящее время в США функционирует около 500 измерительных пунктов по контролю атмосферного воздуха. Вся территория страны разбита на 247 контрольных районов с примерно однотипными метеоусловиями, рельефом, промышленным потенциалом, в которых функционируют или вводятся в действие АСКЗВ.

При обнаружении локального повышения концентраций принимаются меры в отношении близлежащих предприятий.

В *Японии* действует более 2000 автоматических контрольно-измерительных станций, осуществляющих непрерывный мониторинг атмосферного воздуха. 1320 станций ведут наблюдение за содержанием SO_2 ; 885 – NO_x , 287 –придорожные станции слежения за автомобильными выбросами. Наблюдения ведутся в 25 зонах.

Дисплеи и электронные табло установлены на центральном пункте соответствующей системы и на улицах городов. Информация демонстрируется в виде таблиц, графиков, высвечивается на карте города в виде зон загрязнения.

Большинство станций имеют обратную связь с предприятиями. В Токио обратная связь установлена с 200-ми предприятиями, сжигающими 90% топлива. Отдельные приборы непосредственно блокированы с дозаторами топлива.

Ведущей в Западной Европе в области разработки АСКЗВ является фирма «Филлипс» (Голландия).

Сеть контроля загрязнения в Голландии состоит из 200 автоматических контрольно-измерительных станций, связанных с телефонными каналами с

ЭВМ, установленными в 9-ти региональных центрах, которые подключены к главному компьютеру национального центра.

Станции измеряют SO_2 ; CO ; NO_x , NO_2 , O_3 и другие ингредиенты, характерные для данной местности.

Кроме того, 40 станций оснащены датчиками для измерения температуры, влажности воздуха и солнечной радиации

Центр имеет линии прямой связи с аналогичными центрами Бельгии и Германии.

При достижении пороговых уровней концентрации на карте района включается световая сигнализация, местным органам и на соответствующие предприятия отправляются сообщения для устранения критической ситуации.

Анализ работы зарубежных АСКЗВ позволяет сделать следующие выводы:

1. системы существенно отличаются числом контрольных пунктов, имеется тенденция к увеличению числа стационарных станций и применения передвижных;
2. частота опроса станций различна: от 3 раз в сутки до 60 раз в час;
3. в качестве каналов связи используются: телефонные линии, радиоканалы, телеграфный канал;
4. перечень контролируемых ингредиентов примерно одинаков;
5. обязательным является контроль метеопараметров;
6. станции, как правило, работают в автоматическом режиме;

7. каждая система имеет центральный вычислительный комплекс;
8. системы имеют обратную связь с предприятиями – источниками загрязнения;
9. усовершенствование систем осуществляется путем применения более современной техники, объединения локальных систем в региональные, общегосударственные, интернациональные.

В странах СНГ разработан ряд модификаций АСКЗВ, изготовлены образцы, проведены испытания. Однако до настоящего времени не удалось в полной мере организовать их серийное изготовление и широкое применение. Причины сложившейся ситуации:

1. низкая эксплуатационная надежность и качество приборов и газоаналитического оборудования;
2. ведомственная разобщенность организаций, дефицит материальных и финансовых ресурсов.

10.Порядок наблюдения за уровнем загрязнения атмосферы в Украине и странах СНГ

10.1.Посты наблюдения

В Украине и в странах СНГ 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:

- ☐ стационарный;
- ☐ маршрутный;

□ передвижной (подфакельный).

Стационарный пост 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.

Маршрутный пост предназначен для регулярного отбора проб воздуха в фиксированной точке местности при наблюдениях, которые проводят с помощью специально оборудованного автомобиля-лаборатории.

Передвижной (подфакельный) пост 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.

Размещение постов осуществляется на открытой проветриваемой площадке с непылящим покрытием, в местах, исключающих искажение результатов измерений из-за наличия зеленых насаждений, зданий и других объектов.

Стационарные и маршрутные посты размещаются в местах, выбранных на основе предварительного исследования загрязнения атмосферы. Как правило, посты размещают 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.

К числу наиболее загрязненных районов относят зоны наибольших максимальных разовых и среднесуточных концентраций, создаваемых выбросами промышленных предприятий (в радиусе $0,5 \div 2$ км от низких источников и $2 \div 3$ км от высоких).

Подфакельные посты размещают с учетом ожидаемых наибольших концентраций на расстояниях 0,5; 1; 2; 3; 10 км от границы санитарно-защитной зоны или источника загрязнения атмосферы с подветренной стороны от него. Направление факела определяется визуальными наблюдениями за очертаниями облака дыма или по направлению ветра, если дымовое облако отсутствует.

Необходимое количество постов устанавливается в зависимости от следующих факторов:

- численности населения;
- площади населенного пункта;
- рельефа местности;
- особенностей размещения и мощности промышленных предприятий;
- расположения магистралей с интенсивным движением;
- расположения мест отдыха и курортных зон;
- метеоусловий.

На основе результатов теоретических исследований распространения примесей можно предположить сложный характер распределения их концентраций в атмосфере на территории города. Поэтому многие специалисты считают, что для контроля загрязнения воздуха в городе необходимо устанавливать большое количество постов.

С другой стороны поле концентрации примеси будет определяться с определенной погрешностью даже при очень большом числе постов и малых расстояниях между ними из-за существенной погрешности измерений. Увеличение плотности сети и уменьшение расстояния между постами лишь в малой степени повышают точность оценки среднего уровня в каждой точке, но значительно увеличивают материальные затраты на организацию сети наблюдений.

Наиболее правильным следует считать *экономический подход* к решению данной задачи - установление оптимального количества постов, обеспечивающих минимальные затраты при заданной погрешности наблюдений.

Оптимальное количество (стационарных и маршрутных) 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 постов.

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

10.2. Программы наблюдения

Установлено 4 программы наблюдения на стационарных постах: *полная, неполная, сокращенная и суточная.*

Полная программа наблюдений предназначена для получения информации о разовых и среднесуточных концентрациях. Наблюдения по полной программе выполняются ежедневно путем непрерывной регистрации с помощью автоматических устройств или дискретно через равные промежутки времени не менее четырех раз при обязательном отборе в 1, 7, 13, 19 ч по местному декретному времени.

Неполная программа наблюдения предназначена для получения информации о разовых концентрациях ежедневно в 7, 13, 19 ч местного декретного времени.

Сокращенная программа наблюдения предназначена для получения информации только о разовых концентрациях ежедневно в 7 и 13 ч. Наблюдения проводятся при температуре воздуха ниже минус 45°C и в местах, где среднемесячные концентрации ниже 1/20 максимальной разовой ПДК или меньше нижнего предела диапазона измерений концентрации примеси используемым методом.

Допускается проводить наблюдения по скользящему графику в 7, 10, 13 ч. во вторник, четверг, субботу и в 16, 19, 22 ч. в понедельник, среду, пятницу.

Программа суточного отбора проб предназначена для получения информации о среднесуточной концентрации. В отличие от наблюдений по полной программе, наблюдения по этой программе проводятся путем непрерывного суточного отбора проб и не позволяют получать разовых значений концентрации.

Все программы наблюдений позволяют получать концентрации среднемесячные, среднегодовые и средние за более длительный период.

Одновременно с отбором проб воздуха определяют следующие метеорологические параметры:

- 🕒 направление и скорость ветра;
- 🕒 температуру воздуха;
- 🕒 состояние погоды и подстилающей поверхности.

Наблюдения на маршрутных постах, как и на стационарных, проводятся по полной, неполной или сокращенной программе.

Для этого типа постов разрешается смещение сроков наблюдений на 1 час в обе стороны от стандартных сроков, а также не проводить измерения в выходные и праздничные дни.

Сроки отбора проб воздуха при подфакельных наблюдениях должны обеспечить выявление наибольших концентраций примесей, связанных с особенностями режима выбросов и метеорологических условий рассеивания примесей. Они могут отличаться от сроков наблюдений на стационарных и маршрутных постах.

В период неблагоприятных метеорологических условий, сопровождающихся значительным возрастанием содержания примесей до высокого уровня загрязнения, проводят наблюдения через каждые 3 часа. При этом отбирают пробы на территории наибольшей плотности населения на стационарных или маршрутных постах или под факелом основных источников загрязнения по усмотрению управления по гидрометеорологии (УГМ).

Уровень загрязнения атмосферы оценивается по данным наблюдений за год. При этом, как показывает длительный опыт обработки и анализа информации об уровне загрязнения, количество наблюдений должно быть не менее 200. Чтобы учесть колебания метеорологических условий и получить более достоверные сведения об уровне загрязнения используются данные наблюдений за период $2 \div 5$ лет. Общее число наблюдений за рассматриваемый период - не менее 800.

Период наблюдения должен быть ограничен. Это связано с тем, что в ре-

зультате влияния антропогенных факторов уровень загрязнения меняется. Особенно велики эти изменения при вводе в эксплуатацию новых предприятий, смене технологии производства, сокращении числа мелких источников выбросов.

Целесообразно ограничить ряд используемых данных пятью годами и рассчитывать среднее значение за меньший период, в течение которого не происходило резких изменений уровня загрязнения.

10.3. Определение перечня и очередности веществ, подлежащих контролю

Загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферный воздух, можно условно разделить на основные и специфические. Основные вещества (пыль, CO, SO₂, NO_x) имеются в воздухе повсеместно, специфические - выбрасываются отдельными видами производства.

Перечень веществ, подлежащих контролю, определяется следующим образом:

- а) определяется перечень веществ по составу выбросов предприятий города;
- б) оценивается возможность превышения ПДК этих веществ;
- с) список веществ, подлежащих контролю, уточняется по величине параметра потребления воздуха (ПВ).

Показатель ПВ характеризует расход воздуха, необходимый для разбавления выбросов i -го вещества M_i , до уровня концентрации q_i или до уровня ПДК _{i} .

$$\text{Реальный ПВ: } \text{ПВ}_i = M_i / q_i,$$

$$\text{Требуемый ПВ: } \text{ПВ}_{Ti} = M_i / \text{ПДК}_i,$$

где M_i – суммарное количество выбросов i -той примеси от всех источников, расположенных на территории города, т/год;

q_i – концентрация i -той примеси, установленная по данным расчетов или наблюдений, мг/м³.

Устанавливается, будет ли средняя или максимальная концентрация примеси превышать при данных выбросах соответственно среднюю суточную ПДК_{с.с.} или максимальную разовую ПДК_{м.р.} Если $PВ_{Ti} > PВ_i$, то ожидаемая концентрация примеси в воздухе может быть равна ПДК или превысит ее и, следовательно, i -тая примесь должна контролироваться. Перечень веществ для организации наблюдений устанавливается сравнением ПВ с $PВ_{Ti}$ для средних ($PВ_{с.с.}$) и максимальных ($PВ_{м.р.}$) концентраций примесей.

10.3.1. Графический метод выявления необходимости наблюдений за примесью

Для выявления необходимости наблюдений за i -й примесью с использованием $PВ_{с.с.}$ используют графический метод. Графический метод учитывает:

1. ПДК_{с.с.} (семейство прямых линий, соответствующих $C = ПДК_{с.с.}$);
2. M_i (суммарное кол-во выбросов i -той примеси от всех источников);
3. L (характерный размер города);
4. ПЗА (потенциала загрязнения атмосферы).

Характерный размер города L определяют условно как радиус круга площадью S , соответствующей площади города, т. е.:

$$L = \frac{\sqrt{S}}{\pi}$$

Потенциал загрязнения атмосферы ПЗА для города определяется по географическим зонам. ПЗА представляет собой отношение средних уровней концентраций примеси при заданных выбросах в конкретном и условном районах:

$$\text{ПЗА} = C_i / C_o$$

ПЗА показывает, во сколько раз средний уровень загрязнения воздуха в конкретном районе, определяемый реальной повторяемостью неблагоприятных для рассеивания примесей метеоусловий, будет выше, чем в условном.

На территории государств СНГ ПЗА изменяется в пределах от 2,1 до 4,0, т.е. при равных параметрах выбросов уровень загрязнения атмосферы в различных городах может отличаться почти в 2 раза за счет разной повторяемости неблагоприятных метеоусловий.

На территории Украины ПЗА находится в пределах 2,6-2,8.

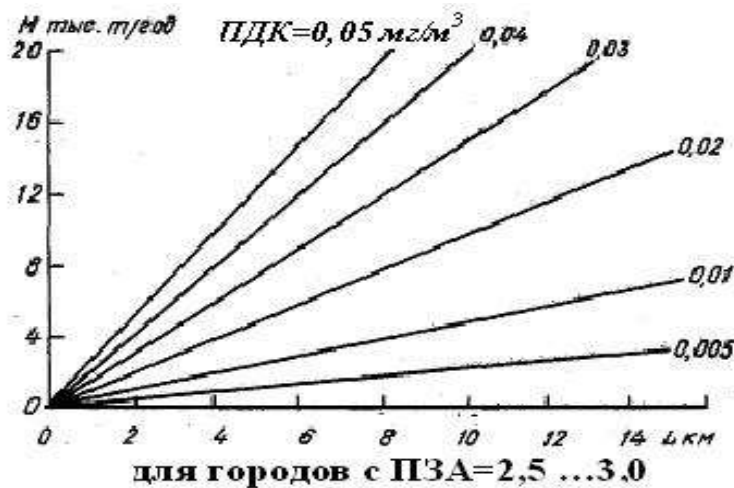


Рис. 10.1 – Зависимость между суммарными выбросами M , характерным размером города L и средней концентрацией примеси $\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$.

На рис.10.1 для i -той примеси по значениям M_i , L_i определяется местоположение точки по отношению к расчетной прямой $C_i = \text{ПДК}_{\text{с.с.}i}$. Если точка попадает в область выше прямой или на прямую, то это означает, что ожидаемая средняя концентрация i -той примеси будет превышать санитарно-гигиеническую норму ($\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$) или будет равна ей. Следовательно, i -тую примесь необходимо контролировать. Если точка ложится ниже прямой, то контролировать i -тую примесь не следует (если при этом ожидаемое максимальное значение концентрации не будет превышать $\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$).

При применении графического метода следует учитывать, что прямые на рис.10.1 соответствуют значениям $\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$ от 0,005 до 0,05 мг/м³. Если значение ПДК i -той примеси больше 0,05 (или меньше 0,005), используется прямая линия соответствующая значению $\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$ в 10 раз меньшему (или большему), чем ПДК , а значения M , нанесенные на оси координат, умножаются (или делятся) на 10. Например, для серной кислоты, имеющей $\text{ПДК}_{\text{с.с.}} = 0,1$ мг/м³, используют линию $\text{ПДК}_{\text{с.с.}} = 0,01$ мг/м³, а значения M на оси ординат умножают на 10.

Если один или группа источников расположены за городской чертой на одной промплощадке, то учитывается повторяемость P_i (в долях единицы) направления ветра со стороны промплощадки. В этом случае вместо M_i берется величина $M_i \cdot P_i$ (в среднем для европейской части СССР P_i принимается равной 0,5), а вместо L_i берется величина L_i равная 2 км, т. е. расстоянию на котором средняя концентрация примеси имеет наибольшее значение.

10.3.2. Определение очередности контроля веществ

Для определения очередности контроля примесей по средним концентрациям рассчитывается параметр требуемого потребления воздуха по формуле

$$ПВ_{Ti} = M_i / ПДК_{с.с.i},$$

Очередность контроля устанавливается из условия:

$$ПВ_{T1} > ПВ_{T2} > ПВ_{T3} > \dots > ПВ_{Tn}$$

Если несколько примесей имеют одинаковые значения $ПВ_T$, то сначала записывается примесь класса опасности 1, затем 2 и т.д.

На основании установленной необходимости и очередности контроля примесей по средним концентрациям составляется первый предварительный список веществ, подлежащих контролю.

Необходимость и очередность контроля за i -той примесью по максимальным концентрациям определяется при сравнении требуемого и реального параметров потребления воздуха.

$$\text{Реальный } ПВ_2: ПВ_{2i} = M_i / q_{м.р. i},$$

$$\text{Требуемый } ПВ_2: ПВ_{2Ti} = M_i / ПДК_{м.р.i},$$

где M_i – суммарное количество выбросов i -той примеси от всех источников, расположенных на территории города, т/год;

$q_{м.р. i}$ – ожидаемая максимальная разовая концентрация i -той примеси, мг/м³.

Значения $ПВ_{2i}$ могут быть получены с помощью формулы для расчета максимальных приземных концентраций, создаваемой выбросами одиночного точечного источника ($C_{mi} = q_{м.р. i}$):

$$AM Fmn\eta$$

$$C_{mi} = \frac{M_i}{H^2 \sqrt[3]{V_1 T}}$$

где: А – коэффициент, зависит от температурной стратификации атмосферы для неблагоприятных метеоусловий, определяет условия вертикального и горизонтального рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. А= 240 для субтропиков Средней Азии; А=160-200 для Украины; А=140 для Московской, Тульской областей России ;

M_i – суммарное количество примеси, выбрасываемое в атмосферу, г/с; F

– коэффициент оседания частиц в атмосферном воздухе, $F = 1 \div 3$;

m, n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника;

η – коэффициент, учитывающий рельеф местности;

H – высота трубы, м;

V_1 – объемный расход газовой смеси, m^3/c ;

T – разность между температурой выбрасываемых газов и средней температурой воздуха, $^{\circ}C$.

С учетом вышеприведенной формулы получаем выражение для $PВ_{2i}$:

$$PВ_{2i} = \frac{M_i}{q_{m.p.i}} = \frac{H^2 \sqrt[3]{V_1 T}}{A F m n \eta}$$

Если $PВ_{2Ti} > PВ_{2i}$, то i -тая примесь включается во второй предварительный список примесей, рекомендованных для контроля.

Окончательный приоритетный список составляется из двух списков по сумме мест в предварительных списках (первый и второй предварительные списки). Если несколько веществ имеют одинаковые номера, то очередность устанавливается по классу опасности.

Дополнительно в обязательный список контролируемых веществ включают: металлы (в городах с предприятиями черной и цветной металлургии), пестициды (в городах вблизи сельхозпредприятий) и другие. Приоритет этих веществ не может быть установлен по вышеизложенной методике.

Перечень контролируемых веществ пересматривают не реже, чем 1 раз в 3 года.

11.Обследование состояния загрязнения атмосферы

Обследование организуется для:

- а) выяснения причин высоких уровней концентраций примесей;
- б) установления их неблагоприятного влияния на здоровье людей и окружающую среду;
- с) разработки мероприятий по охране атмосферы.

11.1.Виды обследования

Различают три вида обследования:

1. Эпизодическое – для ориентировочной оценки состояния загрязнения воздуха, при выборе места для постов наблюдения;

2. Комплексное – для детального изучения особенностей и причин высокого уровня загрязнения, его отрицательного влияния на людей и окружающую среду, для разработки природоохранных мероприятий;

3. Оперативное – для выявления причин резкого ухудшения качества воздуха.

Для организации обследования необходима следующая информация:

1. *физико-географическая характеристика района* (рельеф местности в радиусе 15-20 км, водные объекты, растительные массивы);

2. *климатические условия района* (повторяемость слабых и опасных скоростей ветра, повторяемость приземных и приподнятых инверсий, продолжительность туманов, интенсивность осадков, количество суммарной радиации);

3. *карта-схема района* (основные авто- и железнодорожные магистрали, основные источники загрязнения атмосферы);

4. *существующая оценка уровня загрязнения атмосферы* (сведения о выбросах, состав ингредиентов, возможные максимальные концентрации, вероятность превышения ПДК).

Эпизодическое обследование (ЭО).

Организуют в городах и в районах крупных промышленных объектов при отсутствии регулярных наблюдений за загрязнением атмосферы. Различают два вида эпизодического обследования:

☐ в различных точках города;

☐ на разных расстояниях от предприятия под факелом выбросов вредных веществ.

ЭО проводят или в течение 3-5 лет, или только в течение одного года. При этом необходимо получить не менее 200 наблюдений за концентрацией

каждой примеси. Число точек наблюдения должно быть не менее 2-х. При подфакельном наблюдении замеры проводят не менее чем в 3- точках на расстоянии 0,5; 1 и 3 км от границ СЗЗ предприятия по характерным для данного предприятия веществам. Общее количество наблюдений на каждом расстоянии за одной примесью должно быть не менее 50.

Комплексное обследование (КО).

Программа КО включает следующие работы:

1. *уточнение* характеристик выбросов промышленных предприятий и автотранспорта (перечень предприятий, веществ и автомагистралей);
2. *определение*:
 - a. метеопараметров, подлежащих наблюдению;
 - b. сроков проведения наблюдения;
 - c. точек наблюдения.
3. *определение программы наблюдения*:
 - a. количество постов и дополнительных точек, их местоположение;
 - b. перечень веществ;
 - c. сроки наблюдения;
 - d. перечень предприятий для подфакельных наблюдений (расстояния, количество точек, веществ, сроки);
4. *сбор сведений* о влиянии загрязнения атмосферы на состояние здоровья населения.

Обследование должно проводиться по расширенной программе на территории города и за его пределами, в приземном слое атмосферы на различных высотах.

На различных уровнях над землей наблюдения проводят с использованием телевизионных мачт (установка газоанализаторов, приборов для отбора проб воздуха), вертолетов, зондов.

На стационарных постах наблюдения выполняются постоянно, а на дополнительной сети наблюдений - периодически в течение двух месяцев года - в теплый и холодный периоды.

Программа комплексного обследования реализуется в течение 1-3 лет.

Общее количество наблюдений за одной примесью в одной точке должно быть не менее 200, на одном расстоянии от предприятий за одной примесью - не менее 50 в год.

При подфакельных наблюдениях отбор проб проводят в десяти точках по оси факела на расстоянии $0,5 \div 30$ км от границы СЗЗ, а также слева и справа от оси факела на расстоянии от 50 до 400 м (в зависимости от ширины факела). Более часто наблюдения следует проводить на расстоянии 10-40 средних высот труб, где наиболее вероятны максимальные концентрации.

Направление факела определяют по визуальным наблюдениям за очертаниями дыма. Если дымовое облако отсутствует, то направление факела определяется по направлению ветра и по видимым факелам близлежащих источников.

Отбор проб воздуха под факелом осуществляется на высоте $1,5 \div 3,5$ м от поверхности земли.

12. Статистические характеристики

состояния загрязнения атмосферы

Данные наблюдений за концентрациями примесей (q_i) (на стационарных и маршрутных постах, под факелами предприятий) рассматриваются как совокупность случайных величин - единичных разовых показателей загрязнения атмосферы.

Для систематизации и оценки уровня загрязнения атмосферы за рассматриваемый период обычно применяются следующие *статистические характеристики*:

1). среднее арифметическое значение концентрации примеси - определяет среднюю концентрацию примеси (-среднесуточная, -среднемесячная, -среднегодовая, -средняя многолетняя):

$$\bar{q}_c = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n}, \text{ мг/м}^3$$

где q_i - число разовых концентраций, полученных за соответствующий период.

2). среднее квадратическое отклонение результатов измерений от среднего арифметического - σ - статистическая характеристика ряда случайных величин, позволяющая оценить разброс относительно среднего значения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q}_c)^2}{n}}$$

$$\sigma_i = \frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n-1} \quad , \text{ мг/м}^3$$

(разовые или среднесуточные концентрации – относительно среднемесячного или среднегодового значения;

среднемесячные концентрации относительно среднегодового значения или среднего многолетнего значения);

3). Коэффициент вариации V – дает степень изменчивости концентрации примеси (безразмерная величина):

$$V = \frac{\sigma}{\bar{q}}$$

4). Максимальное значение концентрации примеси – q_m – максимальное значение из разовых, из среднесуточных, из среднемесячных, из среднегодовых концентраций примеси. Выбирают как наибольшее значение из убывающего вариационного ряда соответствующих концентраций за рассматриваемый период.

5). Максимальная концентрация примеси с заданной вероятностью P

ее превышения – получают из предположения логарифмически нормального распределения концентраций примеси в атмосфере для заданной вероятности ее превышения.

$P=0,1\%$	$Z=3,08$
$P=1\%$	$Z=2,33$
$P=5\%$	$Z=1,65$

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

где q -средняя концентрация.

Используется для оценки вероятности P появления концентраций, превышающих заданный уровень.

6). Фоновая концентрация – C_f - концентрация примеси, создаваемая всеми источниками выбросов, исключая рассматриваемый источник.

7). Приземная максимальная концентрация примеси – C_m – расчетная концентрация в приземном слое воздуха, создаваемая отдельным источником выбросов. Рассчитывается по формуле:

$$= AMFmn^{\eta}$$

$$C_m = \frac{M}{H^2 \sqrt{V_1 T}}$$

8). Индексы загрязнения атмосферы -

I. Коэффициент для выражения концентрации примеси в единицах ПДК - a :

II. Повторяемость концентраций примеси в воздухе выше заданного уровня:

$$g = \frac{m}{n} * 100 \quad g_1 = \frac{m_1}{n} * 100$$

где n – число наблюдений за рассматриваемый период;

m, m_1, m_2 – число случаев превышения разовыми концентрациями на посту или на всех постах города уровня ($a \cdot \text{ПДК}$), $a=1,5,10$ соответственно.

III. Индекс загрязнения атмосферы отдельной примесью (ИЗА) – I_i –

количественная характеристика уровня загрязнения атмосферы примесью, учитывающая различие в скорости возрастания степени вредности веществ, приведенной к вредности диоксида серы по мере увеличения превышения ПДК:

$$I_i = \frac{C_i}{\text{ПДК}_{\text{с.с.}}},$$

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

IV. Комплексный индекс загрязнения атмосферы (КИЗА) – I_n –

количественная характеристика уровня загрязнения атмосферы, создаваемого веществами, присутствующими в атмосфере города (района):

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

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

I_n – используют для сравнения степени загрязнения атмосферы в различных городах и регионах.

Расчет индекса загрязнения атмосферы основан на предположении, что на уровне ПДК все вредные вещества характеризуются одинаковым влиянием на человека. При дальнейшем увеличении концентрации степень их вредности возрастает с различной скоростью, которая зависит от класса опасности вещества.

