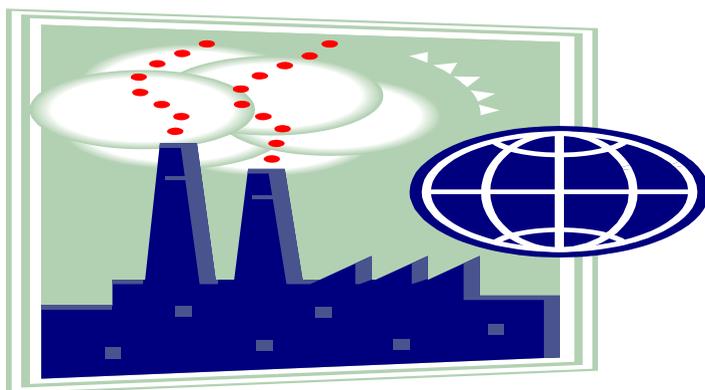


ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. Королёва»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА  
ПРОЦЕССА РАССЕИВАНИЯ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ  
ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ**



**Самара 2006**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. Королёва»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА  
ПРОЦЕССА РАССЕЙВАНИЯ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ  
ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ**

Методические указания

**Самара 2006**

**УДК 502.3**

**Составители:** *О. А. Сенина, С. С. Козий, Т. Б. Козий*

**Исследование экологического риска процесса рассеивания выбросов в атмосферу промышленными предприятиями.** Методические указания / Самарский государственный аэрокосмический университет. Составители: О. А. Сенина, С. С. Козий, Т. Б. Козий. Самара, 2006. 26 с.

Рассматриваются вопросы прогнозирования экологического риска процессов рассеивания промышленных выбросов в атмосферу в зависимости от: технологических и климатических факторов, геометрических параметров источника выброса; вредного воздействия на организм человека. Описан порядок выполнения работы и оформления её результатов.

Лабораторная работа предназначена для студентов всех специальностей и форм обучения, изучающих курс «Экология».

Разработаны на кафедре экологии и безопасности жизнедеятельности.

**Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева.**

**Рецензент:** д-р тех. наук, проф. **И. П. Попов**

**Цель работы:** исследовать закономерности изменения приземной концентрации в процессе рассеивания промышленных выбросов в подфакельной зоне одиночного источника с помощью моделирования процесса рассеивания на ПЭВМ.

### **Атмосферная оболочка Земли.**

Во всех природных процессах на Земле важную роль играет **атмосфера**, состоящую из тропосферы (высотой 10-18 км), стратосферы (высотой до 80 км) и ионосферы (высотой более 80 км). Она служит надежным щитом от вредных космических излучений, определяет климат на планете в целом и на конкретной местности проживания в частности.

Чистый воздух, лишенный пылевидных и газообразных загрязнений, является недостижимым идеалом, не встречающимся в природе из – за постоянного динамического обмена между атмосферой, гидросферой и литосферой, а также как результат естественного (природного) загрязнения, в том числе из – за пожаров, пылевых бурь, извержений вулканов и многого другого.

Воздух атмосферы – один из основных жизненно важных элементов окружающей среды. Беречь его, сохранять в чистоте – значит сохранять жизнь на Земле.

В современных условиях техногенного развития атмосфера подвергается различным антропогенным воздействиям. Предприятия различных отраслей промышленности загрязняют её парами воды, пылью органического и минерального состава, газами.

Воздушный океан обладает способностью к самоочищению от загрязняющих веществ. Аэрозоли вымываются из атмосферы осадками, ионы оседают под влиянием электрического поля атмосферы, а также вследствие гравитации. Частица размером 10 мкм проходит путь от устья трубы высотой 45 м до поверхности земли за 1,4 часа. За это время при скорости ветра 2 м/с выброс из трубы будет отнесен на 10 км, частицы меньшего диаметра осядут на ещё большем расстоянии за счет сорбции их на поверхности более крупных частиц. В отсутствие ат-

мосферных осадков происходит выпадение аэрозолей в результате соприкосновения нижнего слоя воздуха с земной поверхностью и предметами, расположенными на ней. Так, воздушные потоки, переносящие загрязнения, очищаются, встречая на своем пути лес. На деревьях осаждаются не только твердые частицы, но и летучие вещества.

Вследствие турбулентного перемещения приземной слой воздуха все время обновляется, поэтому на поверхности осаждается значительное количество аэрозолей. Так, на 1 м<sup>2</sup> земли выпадает столько аэрозолей, сколько заключено в 250 м приземного слоя воздуха, при этом за сутки очищается слой высотой 250 м. Эта величина условно называется **скоростью очистки**.

Процессы самоочищения атмосферы связаны не только с выпадением осадков и образованием нисходящих потоков, но и с другими метеорологическими явлениями.

Всякое загрязнение вызывает у природы защитную реакцию, направленную на его нейтрализацию. Это способность долгое время бездумно и хищнически эксплуатировалась человеком. Отходы производства выбрасывались в воздух в расчете на то, что будут обезврежены и переработаны самой природой. Кажется, что как не велика общая масса отходов, по сравнению с защитными ресурсами она незначительна. Однако процесс загрязнения резко прогрессирует, и становится очевидным, что природные системы самоочищения рано или поздно не смогут выдержать такой натиск, так как способность атмосферы к самоочищению имеет определенные границы.

### **Основные понятия и определения.**

**Источник выделения загрязняющих веществ** – объект, в котором происходит образование загрязняющих веществ (установка, аппарат, устройство, ёмкость для хранения, двигатель, свалка отходов и т.п.).

**Источники загрязнения атмосферы (источники выброса)** – объекты различных размеров и конфигураций, от которых загрязняющее вещество поступа-

ет в атмосферу (труба, вентиляционная шахта, аэрационный фонарь, открытая стоянка транспорта и т.п.).

Все источники загрязнения атмосферы классифицируются следующим образом:

**Передвижной источник** – источник, не занимающий постоянное место на территории предприятия (например, транспортные средства, передвижные компрессоры и дизель – генераторы электросварки и т.п.).

**Стационарный источник** – источник, имеющий постоянное место в пространстве относительно системы координат предприятия (например, труба котельной, открытые фрамуги цеха и т.д.).

**Неорганизованный источник** – источник загрязнения, осуществляющий выброс в виде ненаправленных потоков газа, в результате нарушения герметичности оборудования, отсутствия или неэффективной работы систем по отсосу газов (пыли) в местах загрузки (выгрузки) или хранения продукта (топлива), а также пылящие отвалы, открытые ёмкости, стоянки, площадки малярных работ и т.п.

**Организованный источник** – источник, загрязнения которого выбрасываются через специально сооруженные устройства (например, трубы, газоходы, вентиляционные шахты).

**Точечный организованный источник** – источник в виде трубы или вентиляционной шахты (трубы круглого, квадратного, прямоугольного сечения и т.п.) размерами которого в плане (на виде сверху) можно пренебречь.

**Линейный организованный источник** – источник в виде канала (щели) для выхода загрязненного газа (воздуха) с поперечным сечением, имеющим значительную протяженность (длину), которая в несколько раз больше, чем ширина (высота). Например, ряд открытых близко расположенных в одну линию оконных фрамуг, либо аэрационный фонари и т.д.

**Плоскостной организованный источник** – источник, имеющий значительные геометрические размеры площадки, по которой относительно равномерно

происходит выделение загрязнений, и, в том числе, как результат рассредоточения на площадке большого числа источников (например, бассейн, открытая стоянка автотранспорта и т.п.).

Отнесение источника загрязнения к точечному, линейному и плоскостному типу производится с целью определения математического аппарата, который используется впоследствии при расчете рассеивания загрязнения в атмосфере.

**Приземная концентрация** ( $\text{мг/м}^3$ ) – это концентрация вредного вещества, измеряемая на высоте **2 м** от поверхности земли в исследуемой точке при нормальных условиях ( $20^\circ\text{C}$  и  $760$  мм рт. ст.).

**Высота источника** – это расстояние от его вершины до поверхности земли в месте его установки.

**Диаметр источника** – это внутренний диаметр его выходного сечения при круглой форме или диаметр окружности, имеющей ту же площадь (при другой форме).

**Скорость ветра** – среднемассовая скорость движения воздуха ( $\text{м/с}$ ), считается постоянной по высоте и расстоянию от источника.

**Скорость выхода смеси** - это среднемассовая скорость в выходном сечении сопла источника.

**Интенсивность выбросов** – масса только интересующего загрязняющего вещества в  $\text{мг}$ , выбрасываемая за  $1$  секунду из источника.

**Подфакельная зона** – зона, расположенная от источника в направлении действия ветра.

### **Загрязнение атмосферы промышленными предприятиями.**

Среди различных промышленных производств особое место занимают крупные промышленные предприятия, относящиеся к типу крупнотоннажных как по объёму выпускаемой продукции, так и по объёму вредных выбросов. К ним относятся предприятия по выпуску черных и цветных металлов, нефтеперерабатывающие, химии органического синтеза, целлюлозно-бумажные, машиностро-

ительные. Промышленные выбросы в атмосферу вышеперечисленных предприятий составляют около 80% от общего объема всех выбросов.

### *Металлургическая промышленность.*

Металлургический комплекс является одним из ведущих в стране, он включает в свой состав отрасли черной и цветной металлургии.

### *Черная металлургия.*

Металлургические комбинаты состоят из 2 видов производств основного (подготовка руды, производство кокса, чугуна, стали, проката) и обслуживающего (энергетическое, транспортное, ремонтно-механические службы).

Мощности современного металлургического цикла рассчитаны на выпуск от 10 до 14 млн. тонн металла. В настоящее время даже при существующем спаде промышленного производства объем производимого металла на крупнейших предприятиях превышает 7 млн. тонн.

По экспертным оценкам удельный выход твердых, газообразных и жидких отходов на 1 тонну проката в целом по черной металлургии составляет: шлаки - 500÷1000 кг, шламы - 80÷120 кг, сухая пыль - 80÷120 кг, окалина - 30÷40 кг, технологические газы - 8000÷10000 м<sup>3</sup>. Суммарно отходы предприятия черной металлургии превышают объем выпуска черных металлов в 2÷4 раза.

Основной вклад в загрязнение атмосферы дают производства, связанные с подготовкой сырья – агломерационная фабрика, коксовые батареи, а также доменные печи, выпускающие чугун.

Агломерационная фабрика является основным поставщиком в атмосферу пыли, более 30% пылевых выбросов от общих выбросов пыли по комбинату. В состав агломерационной пыли входят F, F<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, MnO и другие. Данное производство дает наибольшую долю выбросов сернистого газа (более 60%). Отходящие газы некоторых агломерационных фабрик содержат окислы мышьяка и цинка.

Размеры выбросов коксового производства зависят от способа тушения кокса. Особую опасность представляет мокрое тушение, для которого применяется

техническая или сточная вода. При этом способе тушения в атмосферу поступают вредные вещества, состав которых зависит от содержания вредных веществ в сточной воде. Здесь можно обнаружить фенол, компоненты смолы, бензапирен, сероводород, цианиды, аммиак и другие.

Доменное производство является крупным загрязнителем атмосферы, выбрасывая пыль, сернистый газ, окись углерода, окислы азота, сероводород.

Масштабы и специфика воздействия сталеплавильного производства зависят от применяемого метода плавки стали. Наибольшую опасность представляют мартеновские печи, дающие до 30% окислов азота. Велики и выбросы плавильной пыли, состоящей в основном из окиси железа (например, на тонну мартеновской стали приходится до 15 кг пыли).

### *Цветная металлургия.*

Предприятия цветной металлургии при всех различиях в используемом сырье и видах технологических процессов имеют несколько общих черт воздействия. Они являются источниками поступления в окружающую среду различных канцерогенных веществ, в первую очередь, тяжелых металлов.

Электролиз  $Al_2O_3$  в алюминий при температуре до 950 °С сопровождается выбросами газов, содержащих многие соединения фтора. Гидрофторид и твердые фториды представляют собой наиболее опасные вещества в этом процессе. Удельный выброс соединений фтора достигает 15÷20 кг на тонну выпущенного алюминия. Известно, что фториды обладают ярко выраженным эффектом вымывания кальция из костей и снижения содержания его в крови. При вдыхании фториды сильно поражают дыхательные пути.

При производстве свинца из сульфидных руд или рудных концентратов образуются окислы мышьяка, попадающие в отходящие газы. Окислы мышьяка сопровождают выплавку меди и сурьмы.

### *Нефтеперерабатывающая промышленность.*

Нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) относятся к типу крупнотоннажных производств. Основной продукцией НПЗ являются горючие и смазочные мате-

риалы, битумы, электродный кокс, ароматические углеводороды. Технологический процесс переработки нефти включает ряд последовательных стадий. Основными загрязняющими веществами, выбрасываемыми в атмосферу предприятиями нефтепереработки, являются углеводороды, диоксид серы, оксид углерода, оксиды азота, пентоксид ванадия, фтористые соединения, меркаптаны.

### *Химическая промышленность.*

Химическая промышленность представлена большим многообразием производств, технологий, использованного сырья. При индивидуальности воздействия каждого химического предприятия выделяют некоторые общие особенности, характерные для 2 основных групп химической промышленности – неорганической химии и химии органического синтеза.

### *Неорганическая химия.*

Для производств неорганической химии выделяют 3 основных загрязнителя – оксиды серы, азота, взвешенные частицы. Фиксируются около 400 ненормируемых загрязняющих веществ, имеющих широкий диапазон опасных свойств. К ним относятся аммиак, хлороводород, фтороводород, диоксины и диоксиноподобные вещества. Эти загрязняющие вещества незначительны по объёму, но их многообразие представляет проблему для работы очистных сооружений.

### *Органическая химия.*

Основными выбросами производств органической химии являются углеводороды и оксиды углерода. Имеются и токсичные вещества, выбросы которых образуются в небольших количествах, но очень опасные для здоровья человека – бензол, стирол, акрилонитрил. Среди потенциально опасных полициклических ароматических соединений – бензапирен, перилен, бензепирен, бензжиперилен, коронен и другие.

В отраслях химической переработки дёрвисины особо выделяют предприятия целлюлозно – бумажной промышленности. Технологии, применяемые в отрасли, существенно различаются по воздействию на компоненты природного ком-

плекса. Существует 2 способа получения целлюлозы – *сульфитный*, загрязняющий преимущественно водные стоки, и *сульфатный* – воздушный бассейн.

В процессе производства древесины сульфатным способом образуются выбросы, содержащие диоксид серы, метантион, деметилсульфид. Это пахучие вещества, которые даже при небольших объёмах выбросов образуют так называемый «сульфатный букет запахов».

### *Машиностроительная промышленность.*

Учитывая многообразие производств и технологических процессов машиностроительных предприятий, выделяют несколько направлений воздействия предприятий отрасли на природную среду и на человека. В выбросах в атмосферу присутствуют пыль различного гранулированного состава, сернистый ангидрид, окись углерода, окислы азота, сероводород. Кроме того, выбрасываются масляный и сварочный аэрозоли, растворители ароматического ряда (бензол, толуол, ксилол, ацетон), углеводороды эфирного ряда (бензин, уайт – спирт).

Спецификой отрасли являются элементы, поступающие в атмосферу при процессах сварки и пайки. При этих процессах выделяются пары окислов железа и цинка, аэрозоли марганца, кремния, меди, а также фторидов и озона. Применяемые в производстве теплоизоляционные и звукопоглощающие материалы являются источником асбестовой пыли. Работа гальванических ванн связана с поступлением в атмосферу токсичных испарений закалочных процессов. В красочных цехах преобладают испарения органических растворителей лакокрасочных материалов и аэрозоли пигментов.

При работе металлорежущего оборудования всех видов применяются смазочно – охлаждающие жидкости: масла, эмульсии, сульфифрезол. Аэрозоли этих веществ также попадают в воздух. Абразивная пыль, выделяемая при сухой обработке абразивными инструментами, представляет серьёзную опасность.

## **Вредные воздействия промышленных выбросов на здоровье человека.**

Вредные воздействия газообразных и пылевых промышленных выбросов на человека зависят как от количества загрязняющих веществ, поступающих в организм, так и от их концентрации. Влияние концентрации нетоксичных пылей является неявным, но чрезвычайно опасно в случае токсичных пылей и газов. Воздействие атмосферных загрязнений на организм человека варьируется от пренебрежимо малого раздражения до местного или общего разрушения определенных органов и полной интоксикации организма. Загрязнение атмосферы сопровождается вредными вторичными воздействиями на здоровье человека, приводя к снижению природной сопротивляемости болезням.

При кратковременном воздействии можно выделить концентрацию вещества в воздухе, которую организм человека воспринимает без неблагоприятных реакций. При превышении определенной концентрации организм реагирует посредством процессов сопротивляемости и адаптации, пытаясь устранить воздействие разрушающего вещества и приспособивая процессы жизнедеятельности к изменившимся условиям окружающей среды. Дальнейшее повышение концентраций загрязнения и достижение их характеристических величин приводит к тому, что организм теряет способность к адаптации и устранению воздействия токсичного вещества.

Воздействие загрязняющего вещества после его поглощения организмом может быть более сложным. Этот процесс зависит главным образом от природы вещества. Оно может накапливаться в организме или поступать в кровь и, следовательно, переноситься к различным органам и там воздействовать на биологические процессы, приводя к дальнейшему разрушению организма.

Пылевые частицы, превышающие определенный размер (порядка 2-5 мкм), отделяются в носоглотке и верхних дыхательных путях, так что не попадают в глубь дыхательных путей и, следовательно, не слишком опасны. Однако иногда эти частицы могут оказывать большее разрушающее действие, чем мелкие.

Например, попав в глаз, грубые частицы вызывают сильное раздражение конъюнктивы или ожог. Частицы меньшего размера не задерживаются в носоглотке или верхних дыхательных путях, а поступают внутрь дыхательного тракта. Если они не растворимы, то, накапливаясь в лимфатических узлах, приводит к отложениям пыли в легких. Растворимые вещества поступают в организм с циркулирующими в нем растворами. Наконец, необходимо отметить, что верхние дыхательные пути обладают ярко выраженной способностью удалять частицы пыли. Частицы покрываются слизью, выделяемой соответствующими железами, и удаляются из дыхательных путей за счет сокращения мышечных тканей. Эта способность может быть существенно понижена, если в атмосфере содержатся вещества с наркотическим эффектом, такие как углеводороды, альдегиды и кетоны. Длительное курение сигарет также понижает мобильность таких частиц.

В зависимости от растворимости газообразных загрязняющих веществ изменяются области дыхательных путей, подвергающиеся наибольшему разрушению. Так, хорошо растворимые газообразные загрязнения сорбируются тканями носоглотки и верхних дыхательных путей, и лишь незначительное их количество поступает в глубь дыхательного тракта. Однако газы с меньшей растворимостью поглощаются в носоглотке и верхних дыхательных путях лишь в незначительной степени, а большинство этих загрязняющих веществ проникает внутрь органов дыхания. Действие загрязнений на различные органы также различается. Поглощенные загрязнения ускоряют или тормозят биохимические процессы в организме. Одно и то же загрязняющее вещество может в зависимости от концентрации или дозы давать прямо противоположные эффекты. В малых количествах оно может быть ускорителем, а в больших – оказывать тормозящее действие.

Разрушительное воздействие ряда промышленных загрязнений, содержащихся в производственных выбросах, четко прослеживается по состоянию организма человека. Например, хлор наносит ущерб органам зрения и дыхания.

Фториды, которые вследствие растворимости в соляно-кислом растворе попадают в организм через пищеварительный тракт, обладают ярко выраженным эффектом вымывания кальция из костей и снижения содержания его в крови. При вдыхании фториды сильно поражают дыхательные пути. Гидросульфат поражает роговицу глаз и дыхательные органы, а также вызывает головные боли. При высоких концентрациях интоксикация такова, что приводит к летальному исходу. Весьма опасен и дисульфид углерода, который является ядом нервного действия, что, вызывает психические расстройства. Острая форма отравления приводит к наркотической потере сознания. Некоторые металлы, особенно тяжелые, представляют опасность при вдыхании их паров или соединений. Чрезвычайно опасны для здоровья соединения бериллия. Диоксид серы и нитрозные газы сильно поражают дыхательные пути.

В регионах с высоким уровнем загрязнения атмосферы выявлено значительное количество временных и хронических изменений в организме человека, являющихся следствием указанных разрушающих воздействий. Сильно загрязненный воздух является также причиной часто встречающихся хронических бронхитов и роста числа некоторых инфекционных заболеваний. В регионах с сильно загрязненным воздухом наблюдаются также изменения в составе крови и замедленный рост костной ткани у детей.

### **Оценка и управление экологическим риском.**

Современные промышленные производства используют огромное количество различных химических веществ как в качестве сырья и промежуточных продуктов, так и в качестве конечных товаров для потребителей. В виде отходов многие химические вещества оказываются на свалках и в сточных водах, вызывая возрастающее загрязнение окружающей среды. В связи с этим возникает вопрос о количественных аспектах устойчивости различных компонентов среды, о возможности возникновения необратимого разрушения биохимической структуры среды обитания человека и сопряженных с ней других сфер.

Оценка экологического риска представляет собой процесс оценки вероятности возникновения обратимых и необратимых изменений в биогеохимической структуре и функциях экосистем в ответ на антропогенное воздействие, а также дает возможность принять те или иные меры по предотвращению вредного воздействия.

Схема процесса экологической оценки риска представлена на рис. 2.

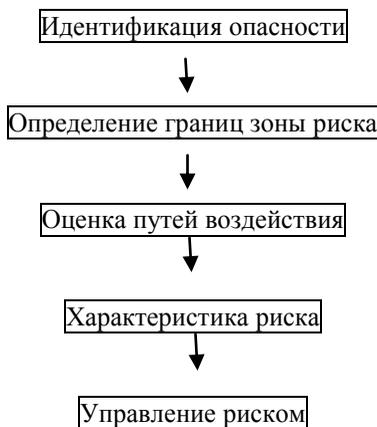


Рис. 2 – Рекомендуемая схема оценки риска

Процесс *идентификации опасности* нацелен на качественное предсказание воздействия. На этой стадии выявляют на качественном уровне потенциально серьезное воздействие тех или иных загрязняющих веществ на окружающую среду.

Процесс *количественной оценки опасности* включает в себя рассмотрение схемы максимально возможного потока вещества и установления географических границ возможного воздействия того или иного загрязнителя, то есть рассматривается полный жизненный цикл вещества.

Процесс *оценки путей антропогенного воздействия* предусматривает рассмотрение общей схемы воздействия загрязняющего вещества на биоту. На этом этапе также исследуется и прямое воздействие загрязняющих веществ на здоровье человека.

Процесс *характеристики риска* оценивает частоту и серьезность токсических воздействий, их обратимость или необратимость. На этом этапе формулируются выводы в форме, требуемой в промышленной и финансовой сферах.

Процесс *управления риском* предусматривает выбор и использование мер для уменьшения риска. Если результаты, полученные на предшествующих этапах, оказались недостаточными или неубедительными, должен быть применен процесс итерации (повторения) со стадии *количественной оценки риска*.

Загрязнение атмосферы в городе складывается под воздействием всего комплекса промышленных предприятий, а не отдельно каждого из них. Поведение загрязняющих веществ после попадания их в атмосферу, а, следовательно, масштаб воздействия определяется многими факторами. Прежде всего, важны природные факторы – метеорологическая ситуация, особенности микрорельефа, наличие массивов зеленых насаждений. Это в значительной степени определяет распространение загрязняющих веществ вокруг источника загрязнения и перенос их на различные расстояния. Степень экологического риска при этом во многом зависит от времени жизни загрязняющих веществ в атмосфере, которое изменяется от нескольких минут до нескольких лет. Типичное время жизни окислов серы и азота 5÷7 дней, а это означает, что при скорости ветра 15÷20 км/ч эти соединения переносятся на расстояния до несколько тысяч километров.

При расчете распространения выбросов учитывают как минимум 2 аспекта – объём загрязнения от источника и высоту трубы каждого источника загрязнения. Показатель высоты трубы очень важен для определения создаваемого ареала загрязнения. В зависимости от специализации предприятия меняются высоты труб. Поэтому ареалы атмосферного загрязнения имеют сложную структуру. Наибольшие ареалы (до 7 км) образуют тепловые электростанции, имеющие наибольшую высоту труб. До 5 км могут распространяться выбросы металлургических, крупных химических предприятий.

Загрязняющие вещества после выброса промышленными предприятиями не остаются в атмосфере в неизменном состоянии. Происходят физические изме-

нения и, что особенно важно, химические изменения. Это могут быть простые химические реакции, например окисление. Так происходит окисление диоксида серы в триоксид, оксида азота в диоксид, альдегиды окисляются до органических кислот. Скорость окисления неодинакова для различных веществ и зависит от многих факторов. В сухом чистом виде диоксид серы сохраняется в течение 2÷4 дней до полного превращения в триоксид. При высокой влажности, в присутствии твердых веществ, половина диоксида серы превращается в триоксид за 10÷20 минут. Температурные изменения приводят к конденсации некоторых газов и паров, сопровождающихся образованием туманов, капель. Солнечное излучение вызывает в атмосфере химические реакции между различными загрязняющими веществами.

Необходимо учитывать эффект совместного действия нескольких загрязнителей, находящихся в атмосфере, известный как эффект суммации. При одновременном содержании нескольких вредных веществ, имеющих невысокие концентрации, их совместное действие может носить особо опасный характер. В настоящее время определено несколько веществ, имеющих эффект суммации. Например, сочетание бензола, никеля, сажи, бензапирена и формальдегида оказывает канцерогенное действие; а углеводороды в сочетании с тяжелыми металлами (свинцом, медью, ртутью) вызывает нарушение репродуктивной функции женщин, врожденные патологии.

Для уменьшения вероятности экологического риска в промышленном производстве существуют 2 принципиальных подхода:

**1. управление выбросами загрязняющих веществ на конечной стадии производства;**

**2. системная перестройка производственного цикла.**

При стратегическом подходе первого типа управление экологическим риском осуществляется после завершения технологического цикла. Этот подход носит условно название «на конце трубы». Переработка загрязняющих веществ «на конце трубы» не сокращает объем или массу загрязнителей. Она попросту

перемешивает отходы после их обработки из одной среды в другую, более удобную при данном технологическом цикле, например, из воздуха в землю. Обработка отходов за пределами основного технологического цикла, то есть «на конце трубы», чрезвычайно широко распространены, однако, по сути, не решает экологических проблем.

При стратегическом подходе второго типа в качестве долгосрочной и, скорее всего, недостижимой на 100% цели ставится задача добиться такого производства, которое было бы полностью замкнутым, подобно космическому кораблю в продолжительном автономном полете. С этих позиций существуют 3 класса технологических подходов, требующих системной перестройки промышленного производства для действительного снижения объёма, массы и токсичности отходов, сбросов и выбросов:

1. *Экономия сырья, материалов и энергии.* К этой категории относятся изменения производственного цикла, в том числе такие мероприятия, как внедрение более экологически и экономически эффективных производственных процессов, использование новых материалов, а также такие мероприятия, как повышение теплоизоляции производственных помещений, установка более эффективного освещения, применение более легких грузовиков и прочее.

2. *Увеличение степени использования промышленного продукта.* К этим мерам относится организация вторичного рынка таких использованных товаров, как автомобили, одежда, электроника, мебель, книги и многие другие, сбор и переработка утиля (лом цветных и черных металлов, стекло, бумага, использованная упаковка и прочее), при соответствующем сокращении производства новых товаров.

3. *Извлечение полезных продуктов из промышленных отходов.* В г. Калунборг (Дания) имеются 3 основных, первичных промышленных предприятия – нефтеперегонный завод, ТЭЦ, работающая на угле, и фармацевтическая фабрика. Объединив эти предприятия в систему, стало возможным значительно сократить их отходы, не увеличив в то же время стоимость продукта. ТЭЦ снаб-

жает попутным теплом фармацевтическую фабрику, а также рыбоводческое хозяйство и теплицы. Зола с электростанции продается цементному производству, а сульфат кальция, улавливаемый установкой по десульфуризации отходов, поступает к изготовителю обоев. Нефтеперегонный завод снабжает ТЭЦ отходящими углеводородами, как дополнительным топливом, а сера, как продукт десульфуризации нефтепродуктов, поставляется химической компании, производящей серную кислоту. Органические отходы фармацевтического предприятия потребляются рыбоводческим хозяйством и используются как удобрение в теплицах.

### Общие сведения о процессе рассеивания выбросов.

Для прогнозирования загрязнения атмосферы на территории, примыкающей к источнику вредных выбросов, используется математическая модель рассеивания газообразных и аэрозольных примесей в атмосферном воздухе, изложенная в общесоюзном (затем общероссийском) нормативном документе (ОНД-86). Данный документ позволяет рассчитать концентрацию вредных веществ в составе выбрасываемых газов в двухметровом слое на уровне земли, а также в вертикальном и горизонтальном сечениях дымового факела.

В действующей природоохранной нормативно-технической документации в области защиты атмосферы от загрязнения приняты следующие понятия.

Для наиболее часто встречающегося случая одиноко стоящей дымовой трубы круглого сечения приземную концентрацию определяют по формуле

$$C_m = \frac{M \times A \times F \times m \times n \times \eta}{H^2 \times \sqrt[3]{V\Delta T}},$$

где  $C_m$  - максимальная приземная концентрация вредных веществ при выбросе нагретой газовой смеси из одиночного (точечного) источника с устьем круглого сечения при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии  $X_m$  от источника, мг/м<sup>3</sup>;  $M$  – количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, г/с;  $A$  – коэффициент, учитывающий рассеивающие

свойства атмосфер, которые определяются климатическими зонами ( $A=140-250$ , для Самарской области  $A=180$ );  $F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;  $m, n$  – безразмерные коэффициенты, зависящие от условия истечения газовой смеси и формы устья источника выброса;  $\eta$  – коэффициент, учитывающий рельеф местности выброса;  $H$  – высота источника выброса (трубы) над уровнем земли, м;  $V$  – объемный расход газовой смеси, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta T$  – разность температур выбрасываемой газовой смеси и окружающего атмосферного воздуха, °С.

В настоящее время, несмотря на свои очевидные недостатки, метод рассеивания промышленных выбросов в атмосфере является основным методом улучшения экологической обстановки вблизи промышленных предприятий.

Улучшение достигается разбавлением промышленных загрязнителей более чистым атмосферным воздухом. При этом нейтрализация промышленных загрязнителей перекладывается на природные факторы: солнечное излучение, озон, флору, бактерии и т.д. На природные факторы в данном случае воздействует вся масса образующихся антропогенных загрязнителей, при этом их концентрация в процессе рассеивания обычно снижается от десятков до сотни и тысячи раз. В результате природная система промышленных регионов в какой-то мере сохраняется, хотя и начинает деградировать на больших пространствах.

**К преимуществам** метода относятся простота реализации, доступность и универсальность.

Любые антропогенные загрязнители могут быть рассеяны в окружающей среде, что предотвращает немедленную гибель природы от концентрированных промышленных выбросов. Перемещение выбросов в атмосфере происходит под действием ветра, а разбавление – в результате турбулентной и молекулярной диффузии.

На эффективность рассеивания влияют такие факторы, как: *состояние атмосферы* (температура воздуха, окружающего источник выброса; скорость вет-

ра и другие физико – технические характеристики атмосферы); *расположение источника загрязнения* (высота над поверхностью земли): географическое расположение предприятия; габариты источника выброса (высота трубы, диаметр устья потока выброса) и другие.

При выбросе газовой смеси из круглого устья одиночного источника приземная концентрация вредного вещества достигает максимального значения на некотором расстоянии от источника (рис. 3).

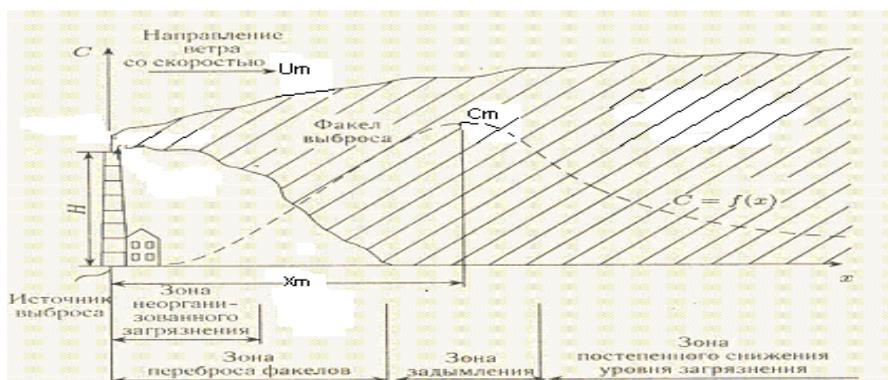


Рис. 3 – Распределение приземной концентрации вредного вещества в атмосфере на оси факела выброса одиночного точечного источника.

При дальнейшем увеличении расстояния приземная концентрация уменьшается в результате процесса перемешивания. На меньших расстояниях примесь, истекающая из источника, не успевает достичь поверхности земли. При этом существует, так называемая, **опасная скорость ветра,  $U_m$** , при которой значение максимума приземной концентрации будет наибольшим, т.е. достигается абсолютный максимум приземной концентрации рассеиваемой примеси.

Сущность понятия опасной скорости ветра для источника выражается в следующем: при штиле или малых скоростях ветра дымовой факел беспрепятственно поднимается на большую высоту и не попадает в ближайшие к источнику приземные слои воздуха. При большой скорости ветра дымовой факел ак-

тивно перемешивается с большим объемом окружающего воздуха; в результате этого, хотя дым и достигает земли, величины приземных концентраций невелики. Следовательно, между штилем и высокой скоростью ветра есть такая опасная скорость  $U_m$  ветра, при которой дымовой факел на определенном расстоянии прижимается к земле, создавая наибольшую величину приземной концентрации. Для каждой из труб величина опасной зоны скорости ветра разная. Чем больше объем газов, выходящих из трубы, тем больше требуется сила ветра, чтобы прижать дымовой факел к земле. Если эти газы имеют высокую температуру, то для преодоления энергии нагретого газа требуется еще большая скорость ветра.

При опасной скорости ветра расстояние от источника до положения точки, соответствующей максимальной приземной концентрации вредного вещества приблизительно оценивается как  $(10 \div 20)H_{ист}$ . Если скорость ветра больше опасной, то положение максимума концентрации на графике сдвигается в область больших расстояний, а величина максимума уменьшается из-за лучшего перемешивания. При скорости ветра, меньше опасной,  $X_m$  сдвигается в область меньших расстояний, а величина максимума уменьшается, т.к. меньшая, чем при опасной скорости ветра, часть примеси достигает поверхности земли. В этой области скорости ветра существует, так называемая, **скорость задувания**, когда максимум приземной концентрации наблюдается в непосредственной близости от основания источника. Величина максимальной приземной концентрации в этом случае будет все-таки меньше, чем при опасной скорости ветра.

Процесс переброса факела (задувание) определяется эжектированием (подсасыванием) выброса зоной обратных токов, образующихся при обтекании трубы ветром. Этот процесс неустойчив, зависит от многих трудно контролируемых факторов, поэтому в ОНД-86 не описан. В данной работе переброс факела воспроизведен по приближительной модели, не претендующей на полную адекватность.

При использовании очень высоких труб, рассеиваемые примеси попадают в стратосферу, где существует постоянная циркуляция атмосферы, перемещающая их с запада на восток (за счет этой циркуляции возможен полет воздушного шара вокруг Земли). В таком случае рассеивание выбросов происходит не в локальной зоне вблизи источника, а в атмосфере Земли в целом. Тогда концентрация примеси вблизи данного источника практически не повышается. Возникает впечатление, что примеси исчезают бесследно. Появились проекты строительства очень высоких мощных источников выбросов, например, «кустовых» электростанций вблизи отдаленных месторождений топлива невысокого качества (высокозольные серосодержащие угли), отправляющих энергию в густонаселенные районы, а выбросы в стратосферу. Подобные проекты серьезно рассматривались многими странами, и их реализация привела бы к быстрому глобальному загрязнению атмосферы. Чтобы этого не допустить было заключено международное соглашение о трансграничном переносе выбросов, подписанное СССР и принятое РФ, в соответствии с которым дальность переноса основного количества выбросов не должно превышать 100 км. Для этого высота труб была ограничена 250 м для энергетики и 200 м для всех других отраслей.

На процесс рассеивания большое влияние может оказать инверсионная характеристика района. При нормальном состоянии атмосферы в дневное время температура воздуха с высотой понижается, что способствует удалению дымовых газов в верхние слои атмосферы (рис. 4, а).

В ночное время земля при ясной погоде отдает в окружающее пространство, как любой нагретый предмет, большое количество лучистого тепла. При этом земля охлаждается сама и за счет конвективного теплообмена охлаждает приземный слой воздуха, который остывает быстрее верхних слоев. В результате этого происходит инверсия (поворот) распределения температур в воздушной оболочке земли - температура воздуха с высотой (до верхних границ инверсионного слоя) повышается вместо обычного понижения (рис. 4, б).

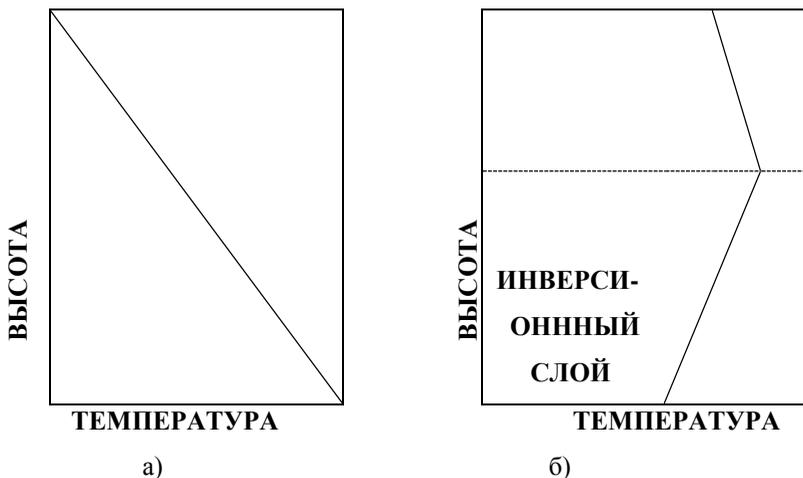


Рис. 4 - Зависимость температуры воздуха от высоты атмосферного слоя: а) уменьшение температуры с изменением высоты при обычном состоянии атмосферного воздуха; б) увеличение температуры с изменением высоты в пределах инверсионного слоя.

Более опасна приподнятая инверсия, когда инверсионный слой расположен на удалении от поверхности земли, обычно на 300-800м. Приподнятая инверсия образуется во время длительных антициклонов при туманной погоде и малых скоростях ветра. Она может держаться несколько суток, а в застойных зонах, окруженных горами, где скорости ветра малы, непрерывная продолжительность инверсий может продолжаться более месяца.

Разрушение инверсионного слоя происходит тем быстрее, чем больше скорость ветра, создающего турбулентный воздухообмен. Инженерной методики для расчета величины приземных концентраций во время инверсионных явлений разной продолжительности пока не разработано.

#### **Выполнение работы**

1. Ознакомиться с теоретической частью, законспектировать основные определения.
2. Получить у преподавателя исходные данные, которые занести в таблицу 1.

3. Запустить программу расчета на ПЭВМ. Раздел PRIPODA, подкаталог LAB1, исполняемый файл RUS.bat. Подсказка F1.

Программа, по введенным параметрам источника, определяет опасную скорость ветра  $U_m$  и параметры рассеивания при этой скорости: кривую,  $C_m$  и  $X_m$ . Результаты расчетов выводятся зеленым цветом. Имеется возможность получить результаты расчета при двух произвольных (задаваемых студентом) скоростях ветра  $U_1$  (синий цвет) и  $U_2$  (красный цвет).

4. Определить качественную зависимость рассеивания от скорости ветра. Для этого получить и заэскизировать (с экрана монитора, нанести на один график) характерные кривые рассеивания

- а) при опасной скорости ветра;
- б) при скорости ветра больше опасной (в 2...2,5 раза);
- в) при скорости ветра меньше опасной (в 2...2,5 раза);
- г) при скорости «задувания» (между опасной скоростью и скоростью, принятой в пункте в).

Одновременно на мониторе можно получить только три графика, из требуемых четырех. На бумагу четвертый график перенести с монитора, изменив одну из произвольных скоростей.

Численные значения полученных результатов записать в таблицу 1.

5. Определить количественную зависимость рассеивания от скорости ветра,  $C_m = f(U)$  и  $X_m = f(U)$ . Для этого каждому студенту необходимо составить план математического эксперимента, выполнить его, а по результатам построить графики.

Минимальный объем эксперимента – четыре точки по скорости ветра в области меньше опасной, опасная скорость ветра и четыре точки по скорости ветра в области больше опасной.

Таблица 1

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ		
Обозначение	Размерность	Численные значения

$T_{\text{смеси}}$	$^{\circ}\text{C}$	
$T_{\text{воздуха}}$	$^{\circ}\text{C}$	
$H_{\text{ист}}$	<b>м</b>	
$D_{\text{ист}}$	<b>м</b>	
$V_{\text{ист}}$	<b>м/с</b>	
$M_{\text{выбр}}$	<b>мг/с</b>	
$U_1$	<b>м/с</b>	
$U_2$	<b>м/с</b>	
<b>РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА</b>		
$C_m$	<b>мг/м<sup>3</sup></b>	
$X_m$	<b>м</b>	
$U_m$	<b>м/с</b>	
$C_{mU1}$	<b>мг/м<sup>3</sup></b>	
$X_{mU1}$	<b>м</b>	
$C_{mU2}$	<b>мг/м<sup>3</sup></b>	
$X_{mU2}$	<b>м</b>	
$U_{\text{задувания}}$	<b>м/с</b>	
$C_m U_{\text{задувания}}$	<b>мг/м<sup>3</sup></b>	
$X_m U_{\text{задувания}}$	<b>м</b>	

План можно составить следующим образом. Значение опасной скорости ветра, которая записана в таблице 1, после выполнения п.4, округляем до ближайших 0,5 м/с. Например, 3,7 м/с - до 3,5 м/с, а 3,8 м/с – до 4 м/с. Шаг изменения аргумента находим, разделив полученное округленное значение на пять (четыре точки разделяют отрезок на пять интервалов). Заполняем графу скорости ветра таблицы 2 с найденным шагом. При заполнении таблицы считаем значение опасной скорости округленным, но в графу «опасная скорость» записываем ее точную величину и значения **C<sub>m</sub>** и **X<sub>m</sub>** из ранее заполненной таблицы 1. Расчет **C<sub>m</sub>** и **X<sub>m</sub>** при других выбранных значениях скорости ветра производим, под-

ставляя их в ячейки произвольных скоростей ветра  $U_1$  или  $U_2$  (можно рассчитывать сразу две точки).

Таблица 2

$U, \text{ м/с}$					$U_{\text{оп}}$				
$C_m, \text{ мг/м}^3$									
$X_m, \text{ м}$									

После заполнения таблицы 2 строим графики зависимости  $C_m = f(U)$  и  $X_m = f(U)$ , совместив оба графика по оси  $U$ .

6. Рассчитать и построить график максимальной приземной концентрации в зависимости от скорости истечения из источника (при опасной скорости ветра) в диапазоне скоростей 1...30 м/с, при заданной высоте источника (табл. 3).

Таблица 3

$V_{\text{ист}}, \text{ м/с}$	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>5,0</b>	<b>10,0</b>	<b>20,0</b>	<b>30,0</b>
$C_m \text{ при } U=U_{\text{оп}}, \text{ мг/м}^3$						

Программа сама ищет опасную скорость ветра, поэтому при расчете требуется просто выписывать значение  $C_m$  (зеленого цвета).

График важен для случая частичной загрузки оборудования, когда скорость выхода смеси может существенно уменьшиться. Предложите мероприятия для увеличения скорости выхода смеси при частичной загрузке оборудования.

7. Рассчитать и построить зависимости максимальной приземной концентрации, расстояния до точки максимальной концентрации и коэффициента разбавления  $K$  в зависимости от высоты трубы (при опасной скорости ветра), в диапазоне высот 50...250 м (скорость выхода смеси и другие параметры источника брать в соответствии с заданием, см. табл.1). План эксперимента приведен в таблице 4.

Таблица 4

Нист, м	50	100	150	200	250
$C_m$ при $U=U_{оп}$ , мг/м <sup>3</sup>					
$Xm$ , при $U=U_{оп}$ , м					
$K$					

Коэффициент разбавления определяется по формуле:

$$K = \frac{C_{ист}}{C_m}, \quad C_{ист} = \frac{M}{Q},$$

где  $Q$  – объёмный расход газа через устье (сопло) трубы, м<sup>3</sup>/с:

$$Q = V_{ист} \times \frac{\pi D^2}{4}.$$

### Форма отчета.

Отчет выполняется на отдельных листах бумаги, содержит: Ф. И. О. и номер группы студента, Ф. И. О. преподавателя, название работы, её цель, основные определения, сводные таблицы результатов (таблицы 1-4), аккуратно построенные графики и выводы по каждому из них.

### Контрольные вопросы.

1. Дайте следующие определения: одиночный источник, высота и диаметр источника, приземная концентрация, опасная скорость ветра, скорость задувания, подфакельная зона? 2. Что такое расстояние до точки максимальной приземной концентрации? 3. Назовите источники пылегазовыделений в литейных, узнечно-прессовых и прокатных, механических, термических цехах, а также на участках окраски, сварки и резки? 4. Как воздействуют выбросы промышленных предприятий на организм человека? 5. Каковы преимущества и недостатки метода рассеивания выбросов? 6. Под действием, каких факторов происходит рассеивание выбросов? 7. Как изменяется максимальная приземная концентрация в подфакельной зоне в зависимости от расстояния до источника? 8. Что такое небла-

гоприятные метеорологические условия? 9. Поясните преимущества и недостатки высоких труб. 10. Дайте определение экологического риска? 11. Приведите схему оценки экологического риска? 12. Поясните назначение 2-х принципиальных подходов управления экологическим риском?

### **Список использованных источников.**

1. Инженерная защита окружающей среды. Учебное пособие в примерах и задачах. / Под ред. О. Г. Воробьева. СПб: Лань, 2002, 288 с.
2. Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. Экология: Учебник для вузов. М.: Дрофа, 2003, 624 с.
3. М. В. Буторина и др. Инженерная экология и экологический менеджмент: Учебник – М: Логос, 2004, 520 с.
4. Башкин В. Н. Управление экологическим риском – М: Научный мир, 2005, 368 с.

Учебное издание

**«ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА  
ПРОЦЕССА РАССЕЙВАНИЯ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ  
ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ»**

Методические указания

Составители: Сенина Ольга Александровна,  
Козий Софья Сергеевна  
Козий Татьяна Борисовна