

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра экологии и рационального использования водных ресурсов

В. С. ДЕЦУК

РАССЕИВАНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

Учебно-методическое пособие

Одобрено методической комиссией строительного факультета



Гомель 2007

УДК 502.3 (075.8)
ББК 20.1
Д 39

Р е ц е н з е н т – руководитель Научно-исследовательского центра
экологической безопасности и энергосбережения на
транспорте
В. М. Овчинников

Децук В. С.

Д 39 Рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере: учеб.-метод.
пособие/ В. С. Децук; М-во образования Респ. Беларусь, Беларусь.
Гос. Ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2007 – 106 с.

Приведены теоретические аспекты процессов рассеивания примесей в атмосфере с перечнем контрольных вопросов к каждому разделу, современные методики расчета распространения примесей, основанные на нормативных документах, примеры расчета, с использованием реальных данных действующих предприятий, а также рекомендации по выполнению расчетов на ЭВМ. Пособие снабжено необходимым для расчетов приложением.

Предназначено для студентов технических специальностей.

УДК 574+502(075.86)
ББК 20.1

© Децук В.С., 2007
© Оформление. УО «БулГУТ», 2007

ВВЕДЕНИЕ

Проблема охраны и оздоровления городской среды охватывает большую группу различных, но взаимосвязанных задач; и в их числе защита воздуха, водоемов и почв от загрязнения, снижение уровня городских шумов, сохранение и развитие растительного покрова, улучшение санитарно-гигиенических и микроклиматических условий внешней среды.

Анализ состояния вопроса о возрастающем загрязнении воздушных бассейнов в ряде городов показывает, что современное промышленное производство оказывает существенное влияние на природную среду, изменяя действующие в ней баланс и круговорот веществ и энергии, поэтому все более важное значение приобретают долгосрочные программы по поддержанию нормального функционирования природных экологических систем. Особенно актуальны проблемы загрязнения воздушного бассейна, т.к. помимо загрязнения воздуха через атмосферу происходит загрязнение и почвы и гидросферы. Общее загрязнение воздушного бассейна Земли ведет к изменению климата на планете.

Основными критериями качества воздушного бассейна являются показатели предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязнений. В настоящее время, когда в атмосферу выбрасывается более 1000 различных загрязнителей, причем общая масса выбросов составляет тысячи мегатонн, концентрация загрязнений нередко многократно превышает ПДК и оказывает воздействие на окружающую среду все чаще на уровне экосистем. Например, ежегодные выбросы оксида углерода составляют 2500 Мт, диоксида серы – 200 Мт, оксидов азота – 60 Мт и т.д.

Разработка долгосрочных прогнозов качества воздушного бассейна потребовала применения сложных методов математического моделирования в комплексе с проведением специальных экспериментов в природных условиях.

Основные задачи прогноза загрязнения атмосферы заключаются в том, чтобы обосновать размещение жилых зон на достаточном удалении от промышленных районов, предсказать, на какое расстояние от источника загрязнения распространится факел вредных примесей. Иными словами: нужно рассчитать расстояние от источника загрязнения до границы зоны

загрязнения, где концентрации выбрасываемых примесей не будут превышать предельно допустимых, т.е. определить санитарно-защитную зону для каждого источника выброса с учетом аэродинамики по отводу загрязненных масс воздуха за пределы города или поселка.

Важными задачами является и анализ степени загрязнения атмосферы в зависимости от климатических и природных условий местности, технологических параметров источника загрязнения, а также расчет предельно допустимых выбросов предприятий.

Степень опасности загрязнения атмосферного воздуха характеризуется наибольшим рассчитанным значением концентрации, соответствующим неблагоприятным, в том числе опасной скорости ветра. Методика расчета не распространяется на расчет концентраций на дальних (более 100 км) расстояниях от источника выбросов.

В ходе прогнозирования загрязнения воздушного бассейна возможно решение и обратных задач по определению технологических параметров производства для соблюдения экологических нормативов.

Цель прогноза – дать наиболее вероятную картину и комплексную оценку загрязнения воздушного бассейна.

Расчет должен использоваться при проектировании предприятий, в том числе транспортного комплекса, а также при нормировании выбросов в атмосферу реконструируемых и действующих предприятий.

1 ЗАКОНЫ РАССЕЙВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ Веществ в атмосфере

1.1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Атмосфера – газообразная оболочка, окружающая небесное тело. Ее характеристики зависят от размера, массы, температуры, скорости вращения и химического состава данного небесного тела, а также определяются историей его формирования, начиная с момента зарождения. Атмосфера Земли образована смесью газов, называемой воздухом. Ее основные составляющие – азот и кислород в соотношении приблизительно 4:1.

На человека оказывает воздействие главным образом состояние нижних 15–25 км атмосферы, поскольку именно в этом нижнем слое сосредоточена основная масса воздуха. Наука, изучающая атмосферу, называется метеорологией, хотя предметом этой науки являются также погода и ее влияние на человека. Состояние верхних слоев атмосферы, расположенных на высотах от 60 до 300 и даже 1000 км от поверхности Земли, также изменяется. Здесь развиваются сильные ветры, штормы и проявляются такие удивительные электрические явления, как полярные сияния. Многие из перечисленных феноменов связаны с потоками солнечной радиации, космического излучения, а также магнитным полем Земли. Высокие слои атмосферы – это также и химическая лаборатория, поскольку там, в условиях, близких к вакууму, некоторые атмосферные газы под влиянием мощного потока солнечной энергии вступают в химические реакции. Наука, изучающая эти взаимосвязанные явления и процессы, называется физикой высоких слоев атмосферы.

Размеры. Пока ракеты-зонды и искусственные спутники не исследовали внешние слои атмосферы на расстояниях, в несколько раз превосходящих радиус Земли, считалось, что по мере удаления от земной поверхности атмосфера постепенно становится более разреженной и плавно переходит в межпланетное пространство. Сейчас установлено, что потоки энергии из глубоких слоев Солнца проникают в космическое пространство далеко за орбиту Земли, вплоть до внешних пределов Солнечной системы. Этот т.н. солнечный ветер обтекает магнитное поле Земли, формируя удлинненную «полость», внутри которой и сосредоточена земная атмосфера. Магнитное поле Земли заметно сужено с обращенной к Солнцу дневной стороны и образует длинный язык, вероятно выходящий за пределы орбиты Луны, – с противоположной, ночной стороны. Граница магнитного поля Земли называется магнитопаузой. С дневной стороны эта граница проходит на расстоянии около семи земных радиусов от поверхности, но в периоды повышенной солнечной активности оказывается еще ближе к поверхности Земли. Магнитопауза является

одновременно границей земной атмосферы, внешняя оболочка которой называется также магнитосферой, так как в ней сосредоточены заряженные частицы (ионы), движение которых обусловлено магнитным полем Земли.

Общий вес газов атмосферы составляет приблизительно $4,5 \cdot 10^{15}$ т. Таким образом, «вес» атмосферы, приходящийся на единицу площади, или атмосферное давление, составляет на уровне моря примерно 11 т/м^2 .

Значение для жизни. Из сказанного выше следует, что Землю от межпланетного пространства отделяет мощный защитный слой. Космическое пространство пронизано мощным ультрафиолетовым и рентгеновским излучением Солнца и еще более жестким космическим излучением, и эти виды радиации губительны для всего живого. На внешней границе атмосферы интенсивность излучения смертоносна, но значительная его часть задерживается атмосферой далеко от поверхности Земли. Поглощением этого излучения объясняются многие свойства высоких слоев атмосферы и особенно происходящие там электрические явления.

Самый нижний, приземной слой атмосферы особенно важен для человека, который обитает в месте контакта твердой, жидкой и газообразной оболочек Земли. Верхняя оболочка «твердой» Земли называется литосферой. Около 72% поверхности Земли покрыто водами океанов, составляющими большую часть гидросферы. Атмосфера граничит как с литосферой, так и с гидросферой. Человек живет на дне воздушного океана и вблизи или выше уровня океана водного. Взаимодействие этих океанов является одним из важных факторов, определяющих состояние атмосферы.

Состав. В таблице 1 приведен состав атмосферы, включающий основные компоненты. Нижние слои атмосферы состоят из смеси газов. Кроме приведенных в таблице, в виде небольших примесей в воздухе присутствуют и другие газы: озон, метан, такие вещества, как оксид углерода, оксиды азота и серы, аммиак и ряд других загрязняющих веществ.

В высоких слоях атмосферы состав воздуха меняется под воздействием жесткого излучения Солнца, которое приводит к распаду молекул кислорода на атомы. Атомарный кислород является основным компонентом высоких слоев атмосферы. Наконец, в наиболее удаленных от поверхности Земли слоях атмосферы главными компонентами становятся самые легкие газы – водород и гелий. Поскольку основная масса вещества сосредоточена в нижних 30 км, то изменения состава воздуха на высотах более 100 км не оказывают заметного влияния на общий состав атмосферы.

Энергообмен. Солнце является главным источником энергии, поступающей на Землю. Находясь на расстоянии около 150 млн. км от Солнца, Земля получает примерно одну двухмиллиардную часть излучаемой им энергии, главным образом в видимой части спектра, которую человек называет «светом». Большая часть этой энергии поглощается атмосферой и

литосферой. Земля также излучает энергию, в основном в виде длинноволновой инфракрасной радиации. Таким образом, устанавливается равновесие между получаемой от Солнца энергией, нагреванием Земли и атмосферы и обратным потоком тепловой энергии, излучаемой в пространство. Механизм этого равновесия крайне сложен.

Таблица 1– Состав атмосферы

СОСТАВ АТМОСФЕРЫ		
Газ		Содержание в сухом воздухе, %
N ₂	азот	78,08
O ₂	кислород	20,95
Ar	аргон	0,93
CO ₂	углекислый газ	0,03
Ne	неон	0,0018
He	гелий	0,0005
Kr	криптон	0,0001
H ₂	водород	0,00005
X	ксенон	0,000009

Пыль и молекулы газов рассеивают свет, частично отражая его в мировое пространство. Еще большую часть приходящей радиации отражают облака. Часть энергии поглощается непосредственно молекулами газов, но в основном – горными породами, растительностью и поверхностными водами. Водяной пар и углекислый газ, присутствующие в атмосфере, пропускают видимое излучение, но поглощают инфракрасное. Тепловая энергия накапливается главным образом в нижних слоях атмосферы. Подобный эффект возникает в теплице, когда стекло пропускает свет внутрь и почва нагревается. Поскольку стекло относительно непрозрачно для инфракрасной радиации, в парнике аккумулируется тепло. Нагрев нижних слоев атмосферы за счет присутствия водяного пара и углекислого газа часто называют парниковым эффектом.

Существенную роль в сохранении тепла в нижних слоях атмосферы играет облачность. Если облака рассеиваются или возрастает прозрачность воздушных масс, температура неизбежно понижается по мере того, как поверхность Земли беспрепятственно излучает тепловую энергию в окружающее пространство. Вода, находящаяся на поверхности Земли,

поглощает солнечную энергию и испаряется, превращаясь в газ – водяной пар, который выносит огромное количество энергии в нижние слои атмосферы. При конденсации водяного пара и образовании при этом облаков или тумана эта энергия освобождается в виде тепла. Около половины солнечной энергии, достигающей земной поверхности, расходуется на испарение воды и поступает в нижние слои атмосферы.

Таким образом, вследствие парникового эффекта и испарения воды атмосфера прогревается снизу. Этим отчасти объясняется высокая активность ее циркуляции по сравнению с циркуляцией Мирового океана, который прогревается только сверху и потому значительно стабильнее атмосферы.

Помимо общего нагревания атмосферы солнечным «светом», значительное прогревание некоторых ее слоев происходит за счет ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца.

Строение. По сравнению с жидкостями и твердыми телами, в газообразных веществах сила притяжения между молекулами минимальна. По мере увеличения расстояния между молекулами газы способны расширяться беспредельно, если им ничто не препятствует. Нижней границей атмосферы является поверхность Земли. Строго говоря, этот барьер непроницаем, так как газообмен происходит между воздухом и водой и даже между воздухом и горными породами, но в данном случае этими факторами можно пренебречь. Поскольку атмосфера является сферической оболочкой, у нее нет боковых границ, а имеются только нижняя граница и верхняя (внешняя) граница, открытая со стороны межпланетного пространства. Через внешнюю границу происходит утечка некоторых нейтральных газов, а также поступление вещества из окружающего космического пространства. Большая часть заряженных частиц, за исключением космических лучей, обладающих высокой энергией, либо захватывается магнитосферой, либо отталкивается ею.

На атмосферу действует также сила земного притяжения, которая удерживает воздушную оболочку у поверхности Земли. Атмосферные газы сжимаются под действием собственного веса. Это сжатие максимально у нижней границы атмосферы, поэтому и плотность воздуха здесь наибольшая. На любой высоте над земной поверхностью давление воздуха равно весу вышележащего столба атмосферы, приходящемуся на единицу площади. Поэтому с высотой давление монотонно уменьшается; а поскольку оно находится в прямой связи с плотностью, то и плотность воздуха уменьшается с высотой.

Если бы атмосфера представляла собой «идеальный газ» с не зависящим от высоты постоянным составом, неизменной температурой и на нее действовала бы постоянная сила тяжести, то давление уменьшалось бы в 10 раз на каждые 20 км высоты. Реальная атмосфера незначительно

отличается от идеального газа примерно до высоты 100 км, а затем давление с высотой убывает медленнее, так как изменяется состав воздуха. Небольшие изменения в описанную модель вносит и уменьшение силы тяжести по мере удаления от центра Земли, составляющее вблизи земной поверхности около 3% на каждые 100 км высоты.

В отличие от атмосферного давления температура с высотой не понижается непрерывно. Это происходит при поглощении солнечной ультрафиолетовой радиации кислородом. При этом образуется газ озон, молекулы которого состоят из трех атомов кислорода (O_3). Он тоже поглощает ультрафиолетовое излучение, и поэтому этот слой атмосферы, называемый озоносферой, нагревается. Выше температура вновь понижается, так как там гораздо меньше молекул газа, и соответственно сокращается поглощение энергии. В еще более высоких слоях температура вновь повышается вследствие поглощения атмосферой наиболее коротковолнового ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца. Под воздействием этого мощного излучения происходит ионизация атмосферы, т.е. молекула газа теряет электрон и приобретает положительный электрический заряд. Такие молекулы становятся положительно заряженными ионами. Благодаря наличию свободных электронов и ионов этот слой атмосферы приобретает свойства электропроводника. Полагают, что температура продолжает повышаться до высот, где разреженная атмосфера переходит в межпланетное пространство. На расстоянии нескольких тысяч километров от поверхности Земли, вероятно, преобладают температуры от 5000° до $10\,000^\circ$ С. Хотя молекулы и атомы имеют очень большие скорости движения, а, следовательно, и высокую температуру, этот разреженный газ не является «горячим» в привычном смысле. Из-за мизерного количества молекул на больших высотах их суммарная тепловая энергия весьма невелика.

Таким образом, атмосфера состоит из отдельных слоев (т.е. серии концентрических оболочек или сфер), выделение которых зависит от того, какое свойство представляет наибольший интерес.

Тропосфера – нижний слой атмосферы, простирающийся до первого термического минимума (т.н. тропопаузы). Верхняя граница тропосферы зависит от географической широты (в тропиках – 18–20 км, в умеренных широтах – около 10 км) и времени года. Национальная метеорологическая служба США провела зондирование вблизи Южного полюса и выявила сезонные изменения высоты тропопаузы. В марте тропопауза находится на высоте около 7,5 км. С марта до августа или сентября происходит неуклонное охлаждение тропосферы, и ее граница на короткий период в августе или сентябре поднимается приблизительно до высоты 11,5 км. Затем с сентября по декабрь она быстро понижается и достигает своего самого

низкого положения – 7,5 км, где и остается до марта, испытывая колебания в пределах всего 0,5 км.

Именно в тропосфере в основном формируется погода, которая определяет условия существования человека. Большая часть атмосферного водяного пара сосредоточена в тропосфере, и поэтому здесь главным образом и формируются облака, хотя некоторые из них, состоящие из ледяных кристаллов, встречаются и в более высоких слоях. Для тропосферы характерны турбулентность и мощные воздушные течения (ветры) и штормы. В верхней тропосфере существуют сильные воздушные течения строго определенного направления. Турбулентные вихри, подобные небольшим водоворотам, образуются под воздействием трения и динамического взаимодействия между медленно и быстро движущимися воздушными массами. Поскольку в этих высоких слоях облачности обычно нет, такую турбулентность называют «турбулентностью ясного неба».

Стратосфера. Вышележащий слой атмосферы, простирающийся примерно до высоты 50 км, часто ошибочно описывают как слой со сравнительно постоянными температурами, где ветры дуют более или менее устойчиво и где метеорологические элементы мало меняются. Верхние слои стратосферы нагреваются при поглощении кислородом и озоном солнечного ультрафиолетового излучения. Верхняя граница стратосферы (стратопауза) проводится там, где температура несколько повышается, достигая промежуточного максимума, который нередко сопоставим с температурой приземного слоя воздуха.

На основе наблюдений, проведенных с помощью самолетов и шаровозондов, приспособленных для полетов на постоянной высоте, в стратосфере установлены турбулентные возмущения и сильные ветры, дующие в разных направлениях. Как и в тропосфере, отмечаются мощные воздушные вихри, которые особенно опасны для высокоскоростных летательных аппаратов. Сильные ветры, называемые струйными течениями, дуют в узких зонах вдоль границ умеренных широт, обращенных к полюсам. Однако эти зоны могут смещаться, исчезать и появляться вновь. Струйные течения обычно проникают в тропопаузу и проявляются в верхних слоях тропосферы, но их скорость быстро уменьшается с понижением высоты. Возможно, часть энергии, поступающей в стратосферу (главным образом затрачиваемой на образование озона), оказывает воздействие на процессы в тропосфере. Именно в стратосфере сосредоточена основная масса озона, с максимальной концентрацией на высоте 20-25 км.

Особенно активное перемешивание связано с атмосферными фронтами, где обширные потоки стратосферного воздуха были зарегистрированы существенно ниже тропопаузы, а тропосферный воздух вовлекался в нижние слои стратосферы. Значительные успехи были достигнуты в

изучении вертикальной структуры нижних слоев атмосферы в связи с совершенствованием техники запуска на высоты 25–30 км радиозондов.

Мезосфера, располагающаяся выше стратосферы, представляет собой оболочку, в которой до высоты 80–85 км происходит понижение температуры до минимальных показателей для атмосферы в целом. Рекордно низкие температуры до -110° С были зарегистрированы метеорологическими ракетами, запущенными с американо-канадской установки в Форт-Черчилле (Канада). Верхний предел мезосферы (мезопауза) примерно совпадает с нижней границей области активного поглощения рентгеновского и наиболее коротковолнового ультрафиолетового излучения Солнца, что сопровождается нагреванием и ионизацией газа.

В полярных регионах летом в мезопаузе часто появляются облачные системы, которые занимают большую площадь, но имеют незначительное вертикальное развитие. Такие светящиеся по ночам облака часто позволяют обнаруживать крупномасштабные волнообразные движения воздуха в мезосфере. Состав этих облаков, источники влаги и ядер конденсации, динамика и связь с метеорологическими факторами пока еще недостаточно изучены.

Термосфера представляет собой слой атмосферы, в котором непрерывно повышается температура. Его мощность может достигать 600 км. Давление и, следовательно, плотность газа с высотой постоянно уменьшаются. Вблизи земной поверхности в 1 м^3 воздуха содержится около $2,5 \cdot 10^{25}$ молекул, на высоте около 100 км, в нижних слоях термосферы, – приблизительно 10^{19} , на высоте 200 км, в ионосфере, – $5 \cdot 10^{15}$ и, по расчетам, на высоте около 850 км – примерно 10^{12} молекул. В межпланетном пространстве концентрация молекул составляет 10^8 – 10^9 на 1 м^3 .

На высоте около 100 км количество молекул невелико, и они редко сталкиваются между собой. Среднее расстояние, которое преодолевает хаотически движущаяся молекула до столкновения с другой такой же молекулой, называется ее средним свободным пробегом. Слой, в котором эта величина настолько увеличивается, что вероятностью межмолекулярных или межатомных столкновений можно пренебречь, находится на границе между термосферой и вышележащей оболочкой (экзосферой) и называется термопаузой. Термопауза отстоит от земной поверхности примерно на 650 км.

При определенной температуре скорость движения молекулы зависит от ее массы: более легкие молекулы движутся быстрее тяжелых. В нижней атмосфере, где свободный пробег очень короткий, не наблюдается заметного разделения газов по их молекулярному весу, но оно выражено выше 100 км. Кроме того, под воздействием ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца молекулы кислорода распадаются на

атомы, масса которых составляет половину массы молекулы. Поэтому по мере удаления от поверхности Земли атомарный кислород приобретает все большее значение в составе атмосферы и на высоте около 200 км становится ее главным компонентом. Ионизируются молекулы и других газов, поэтому ту часть термосферы, где их концентрация особенно велика, называют ионосферой. Выше, приблизительно на расстоянии 1200 км от поверхности Земли, преобладают легкие газы – гелий и водород. Из них и состоит внешняя оболочка атмосферы. Такое разделение по весу, называемое диффузным расслоением, напоминает разделение смесей с помощью центрифуги.

Экзосфера называется внешний слой атмосферы, выделяемый на основе изменений температуры и свойств нейтрального газа. Молекулы и атомы в экзосфере вращаются вокруг Земли по баллистическим орбитам под воздействием силы тяжести. Некоторые из этих орбит параболические и похожи на траектории метательных снарядов. Молекулы могут вращаться вокруг Земли и по эллиптическим орбитам, как спутники. Некоторые молекулы, в основном водорода и гелия, имеют разомкнутые траектории и уходят в космическое пространство. В составе преобладают молекулы водорода, поэтому экзосферу иногда называют «водородной короной Земли».

Контрольные вопросы

Что такое атмосфера Земли?

Что такое магнитопауза и магнитосфера Земли?

Перечислите наиболее важные функции атмосферы.

Назовите основные компоненты состава атмосферы.

Какова роль атмосферы в энергообмене Земли?

Какие силы удерживают атмосферу у поверхности земли?

Как меняется плотность атмосферы с высотой и почему?

Как меняется температура с высотой и почему?

Сколько слоев содержит атмосфера?

Где расположена тропосфера и какова ее высота?

Почему именно в тропосфере формируются основные метеоусловия?

Где расположена стратосфера и какова ее высота?

Почему именно в стратосфере сосредоточена основная масса озона?

Дайте краткую характеристику мезосфере.

Что такое ионосфера и где она расположена?

Что называют «водородной короной Земли» и где она расположена?

1.2 Загрязнение атмосферы

На всех стадиях своего развития человек был тесно связан с окружающим миром. Но с тех пор как появилось высокоиндустриальное общество, опасное вмешательство человека в природу резко усилилось, расширился объём этого вмешательства, оно стало многообразнее и сейчас грозит стать глобальной опасностью для человечества. Расход не возобновимых видов сырья повышается, все больше пахотных земель выбывает из экономики, так на них строятся города и заводы. Человеку приходится все больше вмешиваться в хозяйство биосферы - той части нашей планеты, в которой существует жизнь. Биосфера Земли в настоящее время подвергается нарастающему антропогенному воздействию. При этом можно выделить несколько наиболее существенных процессов, любой из которых не улучшает экологическую ситуацию на планете. Наиболее масштабным и значительным является *химическое загрязнение* среды несвойственными ей веществами химической природы. Среди них - газообразные и аэрозольные загрязнители промышленно-бытового происхождения. Прогрессирует и накопление углекислого газа в атмосфере. Дальнейшее развитие этого процесса будет усиливать нежелательную тенденцию в сторону повышения среднегодовой температуры на планете. Вызывает тревогу у экологов и продолжающееся загрязнение Мирового океана нефтью и нефтепродуктами, достигшее уже 11/5 его общей поверхности. Нефтяное загрязнение таких размеров может вызвать существенные нарушения газо и водообмена между гидросферой и атмосферой. Не вызывает сомнений и значение химического загрязнения почвы пестицидами и ее повышенная кислотность, ведущая к распаду экосистемы. В целом все рассмотренные факторы, которым можно приписать загрязняющий эффект, оказывают заметное влияние на процессы, происходящие в биосфере. Эти процессы приводят к изменению параметров окружающей среды (концентрации химических загрязнителей, температуры, влажности воздуха, давления и др.) и сокращению биоразнообразия в экосистемах. Оказывается разомкнутым и разрушенным биогеохимический круговорот веществ (рисунок 1.1). Поэтому природные экосистемы перестают воспроизводиться в пределах прежних естественных колебаний.

Экосистемы разрушаются также в результате:

- возможного изменения климата из-за изменения концентрации отдельных газов (O_3 , CO_2 и др.) в стратосфере и тропосфере,
- снижения прозрачности атмосферы за счет ее загрязнения,
- атмосферно-гидросферного закисления (рН-эффект, который обусловлен повышением концентрации ионов водорода из-за выбросов в атмосферу оксидов азота и серы).

Промышленное загрязнение. Человек загрязняет атмосферу уже тысячелетиями, однако последствия употребления огня, которым он пользовался весь этот период, были незначительны. Приходилось мириться с тем, что дым мешал дыханию, и что сажа ложилась черным покровом на потолке и стенах жилища. Получаемое тепло было для человека важнее, чем чистый воздух и не закопченные стены пещеры. Это начальное загрязнение воздуха не представляло проблемы, ибо люди обитали тогда небольшими группами, занимая неизмеримо обширную нетронутую природную среду. И даже значительное сосредоточение людей на сравнительно небольшой территории, как это было в классической древности, не сопровождалось еще серьезными последствиями.

Так было вплоть до начала девятнадцатого века. Лишь за последние сто лет развитие промышленности "одарило" нас такими производственными процессами, последствия которых вначале человек еще не мог себе представить. Возникли города-миллионеры, рост которых остановить нельзя. Все это результат великих изобретений и завоеваний человека. Схема загрязнения атмосферы представлена на рисунке 1.1.

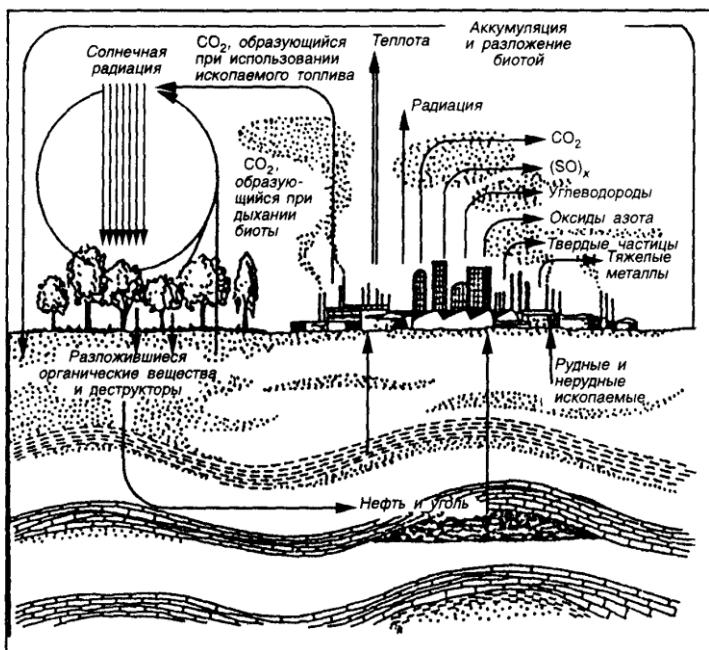


Рис 1.6. Схема связи между загрязнением атмосферы и круговоротом веществ

В основном существуют три основных источника загрязнения атмосферы: *промышленность, бытовые котельные, транспорт*. Доля каждого из этих источников в общем, загрязнении воздуха сильно различается в зависимости от места. Сейчас общепризнанно, что наиболее сильно загрязняет воздух промышленное производство, а в крупных городах – транспорт. Источники загрязнения – теплоэлектростанции, которые вместе с дымом выбрасывают в воздух сернистый и углекислый газ; металлургические предприятия, особенно цветной металлургии, которые выбрасывают в воздух окислы азота, сероводород, хлор, фтор, аммиак, соединения фосфора, частицы и соединения ртути и мышьяка; химические и цементные заводы. Вредные газы попадают в воздух в результате сжигания топлива для нужд промышленности, отопления жилищ, работы транспорта, сжигания и переработки бытовых и промышленных отходов. Атмосферные загрязнители разделяют на первичные, поступающие непосредственно в атмосферу, и вторичные, являющиеся результатом превращения последних. Так, поступающий в атмосферу

сернистый газ окисляется до серного ангидрида, который взаимодействует с парами воды и образует капельки серной кислоты. При взаимодействии серного ангидрида с аммиаком образуются кристаллы сульфата аммония. Подобным образом, в результате химических, фотохимических, физико-химических реакций между загрязняющими веществами и компонентами атмосферы, образуются другие вторичные признаки. Основным источником пирогенного загрязнения на планете являются тепловые электростанции, металлургические и химические предприятия, котельные установки, потребляющие более 70% ежегодно добываемого твердого и жидкого топлива. Вредными основными примесями пирогенного происхождения являются следующие:

– *Оксид углерод* получается при неполном сгорании углеродистых веществ. В воздух он попадает в результате сжигания твердых отходов, с выхлопными газами и выбросами промышленных предприятий. Ежегодно этого газа поступает в атмосферу не менее 1250 млн.т. Оксид углерода является соединением, активно реагирующим с составными частями атмосферы и способствует повышению температуры на планете, и созданию парникового эффекта.

– *Сернистый ангидрид* выделяется в процессе сгорания серу содержащего топлива или переработки сернистых руд (до 170 млн.т. в год). Часть соединений серы выделяется при горении органических остатков в горнорудных отвалах. Только в США общее количество выброшенного в атмосферу сернистого ангидрида составило 65 процентов от общемирового выброса.

– *Серный ангидрид* образуется при окислении сернистого ангидрида. Конечным продуктом реакции является аэрозоль или раствор серной кислоты в дождевой воде, который подкисляет почву, обостряет заболевания дыхательных путей человека. Выпадение аэрозоля серной кислоты из дымовых факелов химических предприятий отмечается при низкой облачности и высокой влажности воздуха. Листовые пластинки растений, произрастающих на расстоянии менее 11 км от таких предприятий, обычно бывают густо усеяны мелкими некротическими пятнами, образовавшихся в местах оседания капель серной кислоты. Пирометаллургические предприятия цветной и черной металлургии, а также ТЭС ежегодно выбрасывают в атмосферу десятки миллионов тонн серного ангидрида.

– *Сероводород и сероуглерод* поступают в атмосферу отдельно или вместе с другими соединениями серы. Основными источниками выброса являются предприятия по изготовлению искусственного волокна, сахара, коксохимические, нефтеперерабатывающие, а также нефтепромыслы. В атмосфере при взаимодействии с другими загрязнителями подвергаются медленному окислению до серного ангидрида.

– *Оксиды азота*, основными источниками выброса являются предприятия, производящие азотные удобрения, азотную кислоту и нитраты, анилиновые красители, нитросоединения, вязкий шелк, целлулоид. Количество оксидов азота, поступающих в атмосферу, составляет 65 млн.т. в год.

– *Соединения фтора*, источниками загрязнения являются предприятия по производству алюминия, эмалей, стекла, керамики, стали, фосфорных удобрений. Много фторидов выделяется алюминиевыми заводами. Фторсодержащие вещества поступают в атмосферу в виде газообразных соединений – фтороводорода или пыли фторида натрия и кальция. Соединения характеризуются токсическим эффектом. Производные фтора являются сильными инсектицидами.

– *Соединения хлора* поступают в атмосферу от химических предприятий, производящих соляную кислоту, хлорсодержащие пестициды, органические красители, гидролизный спирт, хлорную известь, соду, а также в результате утечек из замкнутых объемов в процессе транспортировки и хранения.

В атмосфере встречаются как примесь молекулы хлора и паров соляной кислоты. Токсичность хлора определяется видом соединений и их концентрацией. В металлургической промышленности при выплавке чугуна и при переработке его на сталь происходит выброс в атмосферу тяжелых различных металлов и ядовитых газов. Так, в расчете на 11 т. передельного чугуна выделяется кроме 12,7 кг. Осернистого газа и 14,5 кг. Опылевых частиц, определяющих количество соединений мышьяка, фосфора, сурьмы, свинца, паров ртути и редких металлов, смоляных веществ и цианистого водорода.

– *Аммиак* (NH_3) попадает в воздух при разгерметизации магистральных трубопроводов, хранилищ, в процессе его синтеза, животноводческими и птицеводческими комплексами, при гниении органических веществ.

– *Ртуть* (Hg) является рассеянным элементом. В небольших количествах встречается в самородном виде. Суммарное количество Hg в океане около $206 \cdot 10^6$ т; в атмосфере ее содержится 300-350 т. Время жизни ртути в атмосфере – порядка 10 суток. Современные антропогенные поступления ртути в атмосферу сопоставимы с выбросами, образующимися в ходе природных процессов. Например, только за счет сжигания угля ежегодно в атмосферу поступает свыше 0,5 т ртути. Из производимой в мире ртути (10 - 15 тыс. т) 70% безвозвратно теряется.

Источники загрязнения ртутью – предприятия, использующие пирометаллургический процесс получения этого металла, на которых происходит сжигание органического топлива, металлургические предприятия, особенно цветной металлургии. Ртуть выделяется в процессе

коксования угля, возгонки древесины, сжигания мусора, при утилизации отслуживших срок электрических ламп дневного света.

Загрязнение транспортными средствами. В последние десятилетия в связи с быстрым развитием автотранспорта и авиации существенно увеличилась доля выбросов, поступающих в атмосферу от подвижных источников: грузовых и легковых автомобилей, тракторов, тепловозов и самолетов. Согласно оценкам, в городах на долю автотранспорта приходится (в зависимости от развития в данном городе промышленности и числа автомобилей) от 30 до 70 % общей массы выбросов. В США в целом по стране, по крайней мере, 40 % общей массы пяти основных загрязняющих веществ составляют выбросы подвижных источников.

Автотранспорт. Основной вклад в загрязнение атмосферы вносят автомобили, работающие на бензине (в США на их долю приходится около 75 %), затем самолеты (примерно 5 %), автомобили с дизельными двигателями (около 4 %), тракторы и другие сельскохозяйственные машины (около 4 %), железнодорожный и водный транспорт (примерно 2 %). К основным загрязняющим атмосферу веществам, которые выбрасывают подвижные источники, (общее число таких веществ превышает 40), относятся оксид углерода (в США его доля в общей массе составляет около 70 %), углеводороды (примерно 19 %) и оксиды азота (около 9 %). Оксид углерода (CO) и оксиды азота (NO_x) поступают в атмосферу только с выхлопными газами, тогда как не полностью сгоревшие углеводороды (HnC_m) поступают как вместе с выхлопными газами, (он составляет примерно 60 % от общей массы выбрасываемых углеводородов), так и из картера (около 20 %), топливного бака (около 10 %) и карбюратора (примерно 10 %); твердые примеси поступают в основном с выхлопными газами (90 %) и из картера (10 %).

Наибольшее количество загрязняющих веществ выбрасывается при разгоне автомобиля, особенно при быстром, а также при движении с малой скоростью (из диапазона наиболее экономичных). Относительная доля (от общей массы выбросов) углеводородов и оксида углерода наиболее высока при торможении и на холостом ходу, доля оксидов азота - при разгоне. Из этих данных следует, что автомобили особенно сильно загрязняют воздушную среду при частых остановках и при движении с малой скоростью.

Создаваемые в городах системы движения в режиме "зеленой волны", существенно сокращающие число остановок транспорта на перекрестках, призваны сократить загрязнение атмосферного воздуха в городах. Большое влияние на качество и количество выбросов примесей оказывает режим работы двигателя, в частности соотношение между массами топлива и воздуха, момент зажигания, качество топлива, отношение поверхности камеры сгорания к ее объему и др. При увеличении отношения массы

воздуха и топлива, поступающих в камеру сгорания, сокращаются выбросы оксида углерода и углеводов, но возрастает выброс оксидов азота.

Несмотря на то, что дизельные двигатели более экономичны, и таких веществ, как CO, H₂Cm, NO_x, выбрасывают не более чем бензиновые, они существенно больше выбрасывают дыма (преимущественно несгоревшего углерода), который к тому же обладает неприятным запахом, создаваемым некоторыми несгоревшими углеводородами. В сочетании же с создаваемым шумом дизельные двигатели не только сильнее загрязняют среду, но и воздействуют на здоровье человека гораздо в большей степени, чем бензиновые.

Авиатранспорт. Хотя суммарный выброс загрязняющих веществ двигателями самолетов сравнительно невелик (для города, страны), в районе аэропорта эти выбросы вносят определяющий вклад в загрязнение среды. К тому же турбореактивные двигатели (так же как дизельные) при посадке и взлете выбрасывают хорошо заметный на глаз шлейф дыма. Значительное количество примесей в аэропорту выбрасывают и наземные передвижные средства, подъезжающие и отъезжающие автомобили.

Согласно полученным оценкам, в среднем около 42 % общего расхода топлива тратится на выруливание самолета к взлетно-посадочной полосе (ВПП) перед взлетом и на заруливание с ВПП после посадки (по времени в среднем около 22 мин). При этом доля несгоревшего и выброшенного в атмосферу топлива при рулении намного больше, чем в полете. Помимо улучшения работы двигателей (распыление топлива, обогащение смеси в зоне горения, использование присадок к топливу, впрыск воды и др.), существенного уменьшения выбросов можно добиться путем сокращения времени работы двигателей на земле и числа работающих двигателей при рулении (только за счет последнего достигается снижение выбросов в 3 - 8 раз).

В последние 10 - 15 лет большое внимание уделяется исследованию тех эффектов, которые могут возникнуть в связи с полетами сверхзвуковых самолетов и космических кораблей. Эти полеты сопровождаются загрязнением стратосферы оксидами азота и серной кислотой (сверхзвуковые самолеты), а также частицами оксида алюминия (транспортные космические корабли). Поскольку эти загрязняющие вещества разрушают озон, то первоначально создалось мнение (подкрепленное соответствующими модельными расчетами), что планируемый рост числа полетов сверхзвуковых самолетов и транспортных космических кораблей приведет к существенному уменьшению содержания озона со всеми губительными последующими воздействиями ультрафиолетовой радиации на биосферу Земли. Однако более глубокий подход к этой проблеме позволил сделать заключение о слабом влиянии выбросы сверхзвуковых самолетов на состояние стратосферы. Так, при

современном числе сверхзвуковых самолетов и выбросе загрязняющих веществ на высоте около 16 км относительное уменьшение содержания O_3 может составить примерно 0.60; если их число возрастет до 200 и высота полета будет близка к 20 км, то относительное уменьшение содержания O_3 может подняться до 17%. Глобальная приземная температура воздуха за счет парникового эффекта, создаваемого выбросами сверхзвуковыми самолетами может повыситься не более чем на $0,1^\circ C$ /

Более сильное воздействие на озонный слой и глобальную температуру воздуха могут оказать хлорфторметаны (ХФМ0 фреон-11 и фреон-12 – газы, образующиеся в частности, при испарении аэрозольных препаратов, которые используются для окрашивания волос. Поскольку ХФМ очень инертны, то они распространяются и долго живут не только в тропосфере, но и в стратосфере. Обладая довольно сильными полосами поглощения в окне прозрачности атмосферы (8-12 мкм), фреоны усиливают парниковый эффект. Непрерывающееся в последние десятилетия производство фреонов могут привести к увеличению содержания фреона-11 и фреона-12 в 2030 г. до 0,8 и 2,3 млрд. (при современных значениях 0,1 и 0,2 млрд.). Под влиянием такого количества фреонов общее содержание озона в атмосфере уменьшится на 18%, а в нижней стратосфере даже на 40; глобальная приземная температура возрастет на $0,8-0,9^\circ C$.

В заключение можно отметить, что все эти антропогенные эффекты перекрывают в глобальном масштабе естественные факторы.

Контрольные вопросы

Назовите основные источники загрязнения атмосферы.

Перечислите основные загрязнители атмосферы и причины их появления.

Каков вклад транспорта в общие выбросы загрязнений?

От каких факторов зависит количество транспортных выбросов?

Какие двигатели – бензиновые или дизельные оказывают большее негативное воздействие?

Оказывают ли влияние выбросы загрязнений на более высокие слои атмосферы, например, на стратосферу?

В чем состоит опасность выбросов фреонов?

К каким глобальным последствиям может привести загрязнение атмосферы?

Сопоставимы ли масштабы антропогенного загрязнения с естественными процессами?

1.3 Влияние загрязнения атмосферы на человека, растительный и животный мир

Все загрязняющие атмосферный воздух вещества в большей или меньшей степени оказывают отрицательное влияние на здоровье человека. Эти вещества попадают в организм человека преимущественно через систему дыхания. Органы дыхания страдают от загрязнения непосредственно, поскольку около 50% частиц примеси радиусом 0,01-0,1 мкм, проникающих в легкие, осаждаются в них.

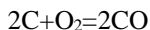
Проникшие в организм частицы вызывают токсический эффект, поскольку они: а) токсичны (ядовиты) по своей химической или физической природе; б) служат помехой для одного или нескольких механизмов, с помощью которых нормально очищается респираторный (дыхательный) тракт; в) служит носителем поглощенного организмом ядовитого вещества.

В некоторых случаях воздействие одних загрязняющих веществ в комбинации с другими приводит к более серьезным расстройствам здоровья, чем воздействие каждого из них в отдельности. Большую роль играет продолжительность воздействия.

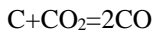
Статистический анализ позволил достаточно надежно установить зависимость между уровнем загрязнения воздуха и такими заболеваниями как поражение верхних дыхательных путей, сердечная недостаточность, бронхиты, астма, пневмония, эмфизема легких, а также болезни глаз. Резкое повышение концентрации примесей, сохраняющееся в течение нескольких дней, увеличивает смертность людей пожилого возраста от респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний.

Схема воздействия загрязнений представлена на рисунке 1.2

Оксид углерода (CO) образуется в процессе горения топлива при недостаточном содержании кислорода:



Кроме того, часть образующегося CO₂ при повышенных температурах может вступать в реакцию с углеродом, образуя оксид углерода:



Концентрация CO, превышающая предельно-допустимую, приводит к физиологическим изменениям в организме человека, а концентрация более 750 млн⁻¹-к смерти. Объясняется это тем, что CO-исключительно агрессивный газ, легко соединяющийся с гемоглобином (красными кровяными тельцами). При соединении образуется карбоксигемоглобин, повышенное (выше нормы, равной 0,4%) содержание которого в крови сопровождается:

а) ухудшением остроты зрения и способности оценивать длительность интервалов времени,

б) нарушением некоторых психомоторных функций головного мозга (при содержании 2-5%),

в) изменениями деятельности сердца и легких (при содержании больше 5%),

г) головными болями, сонливостью, спазмами, нарушениями дыхания и смертностью (при содержании 10-80%).

Схема воздействия атмосферных загрязнений на организм человека представлена на рисунке 1.2.

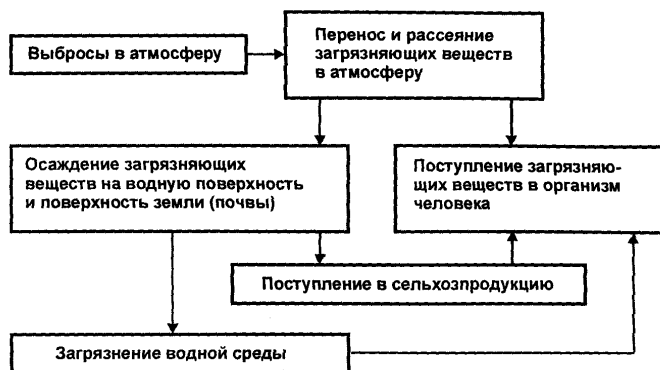
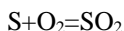


Рисунок 1.2 – Схема воздействия атмосферных загрязнений на организм человека

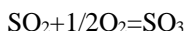
Степень воздействия оксида углерода на организм зависит не только от его концентрации, но и от времени пребывания (экспозиции) человека в загазованном CO воздухе. Так, при концентрации CO , равной $10\text{-}50 \text{ млн}^{-1}$ (нередко наблюдаемой в атмосфере площадей и улиц больших городов), при экспозиции 50-60 мин. Отмечаются нарушения, приведенные в п."А", 8-12ч-6 недель-наблюдаются изменения, указанные в п."В". Нарушение дыхания, спазмы, потеря сознания наблюдаются при концентрации CO , равной 200 млн^{-1} , и экспозиции 1-2 ч при тяжелой работе и 3-6 ч в покое. К счастью, образование карбоксигемоглобина в крови – процесс обратимый: после прекращения вдыхания CO начинается его постепенный вывод из крови; у здорового человека содержание CO в крови каждые 3-4 ч уменьшается в два раза. Оксид углерода – очень стабильное вещество; время его жизни в атмосфере составляет 2-4 мес. При ежегодном поступлении 350 млн. т концентрация CO в атмосфере должна была бы увеличиваться примерно на

0,03 илн⁻¹/год. Однако этого, к счастью, не наблюдается, чем мы обязаны в основном почвенным грибам, очень активно разлагающими СО (некоторую роль играет также переход СО в СО₂).

Диоксид серы (SO₂) и сернистый ангидрид (SO₃). Сера, входящая в состав топлива (уголь, нефть и др.), сгорает с образованием оксидов:

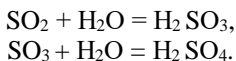


В меньшей мере протекает дальнейшее окисление SO₂:



Диоксид серы и серный ангидрид в комбинации с взвешенными частицами и влагой оказывают наиболее вредное воздействие на человека, живые организмы и материальные ценности. SO₂-бесцветный и негорючий газ, запах которого начинает ощущаться при его концентрации в воздухе 0,3-1,0 млн⁻¹, а при концентрации свыше 3 млн⁻¹ SO₂ имеет острый раздражающий запах. Диоксид серы в смеси с твердыми частицами и серной кислотой (раздражитель более сильный, чем SO₂) уже при среднегодовом содержании 0,04-0,09 млн⁻¹ и концентрации дыма 150-200 мкг/м³ приводит к увеличению симптомов затрудненного дыхания и болезней легких, а при среднесуточном содержании SO₂ 0,2-0,5 млн⁻¹ и концентрации дыма 500-750 мкг/м³ наблюдается резкое увеличение числа больных и смертельных исходов. При концентрации SO₂ 0,3-0,5 млн⁻¹ в течение нескольких дней наступает хроническое поражение листьев растений (особенно шпината, салата, хлопка и люцерны), а также иголок сосны.

Оксиды серы являются причиной кислотных дождей:



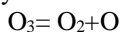
Оксиды азота (оксид азота (NO) и прежде всего, ядовитый диоксид азота NO₂), соединяющиеся при участии ультрафиолетовой солнечной радиации с углеводами (среди которых наибольшей реакционной способностью обладает олефины), образуют пероксилацетилнитрат (ПАН) и другие фотохимические окислители, в том числе пероксибензоилнитрат (ПБН), озон (O₃), перекись водорода (H₂O₂), диоксид азота. Эти окислители – основные составляющие *фотохимического смога*, повторяемость которого велика в сильно загрязненных городах, расположенных в низких широтах северного и южного полушария.

Наличие в составе ПАН диоксида азота и иодистого калия придает смогу коричневый оттенок. При конденсации ПАН выпадает на землю в виде клейкой жидкости, губительно действующей на растительный покров.

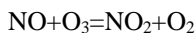
Все окислители, а первую очередь ПАН и ПБН, сильно раздражают и вызывают воспаления глаз, а в комбинации с озоном раздражают носоглотку, приводя к спазмам грудной клетки, а при высокой концентрации (свыше 3-4 мг/м³) вызывают сильный кашель и ослабляют возможность на чем-либо сосредоточиться.

Высокооктановый сероводород попадает в атмосферу из скважин для добычи газа и нефти, минеральных источников, от предприятий химической промышленности, целлюлозно-бумажных, кожевенных заводов и др. Мировой антропогенный выброс H₂S составляет 3х10⁶ т в год. В природу H₂S поступает в ходе биологических процессов в почве и в поверхностных водах в результате восстановления сульфатов при воздействии на них десульфурующих микроорганизмов, использующих кислород сульфатов в процессе окисления органических веществ. Количество H₂S, поступающего в атмосферу таким путем, оценивается около 70-100х10⁶ т г. В результате вулканической деятельности в атмосферу поступает 1,5·10⁶ т в год H₂S.

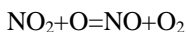
Озон – вещество, присутствие которого в небольших количествах в атмосфере исключительно важно для жизни. Благодаря поглощению солнечного ультрафиолетового излучения стратосферным озоном (нижняя граница 8-17 км, верхняя около 50 км) биосфера защищена от вредного ультрафиолетового излучения. Озоновый слой поглощает жесткую ультрафиолетовую радиацию с длиной волны порядка 220-320 нм. При этом происходит диссоциация молекулы озона:



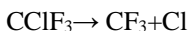
Образующийся молекулярный и атомарный кислород могут снова рекомбинировать, вследствие чего озон регенерируется. Таким образом, озоновый слой препятствует появлению на поверхности нашей планеты губительной ультрафиолетовой радиации, которая способствует возникновению раковых заболеваний кожи, повреждению сельскохозяйственных культур, разрушению фитопланктона - одного из основных источников поддержания жизни в Мировом океане. Поглощение тропосферным озоном (тропосфера - нижний слой атмосферы, выше которого находится стратосфера) инфракрасного излучения во многом поддерживает глобальный температурный баланс. В то же время озон как сильное токсичное вещество (превосходит по токсичности синильную кислоту) обладает свойством мутагенности. Под действием антропогенных загрязнителей он может необратимо разрушаться, например, способен окислять оксид азота до диоксида азота:



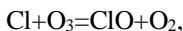
который, взаимодействуя с атомарным кислородом, превращается снова в NO:



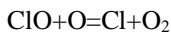
Тем самым прекращается его регенерация. Разрушают озон и фреоны (насыщенные фторуглероды или полифторуглероды, содержащие часть атомов хлора или брома). Попадая в атмосферу, эти вещества подвергаются разрушению под действием ультрафиолетовой радиации Солнца. Например:



Образующийся атомарный хлор далее взаимодействует с озоном:

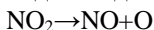


а монооксид хлора - с атомарным кислородом:



Далее атомарный хлор может снова вступить в реакцию с озоном.

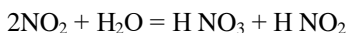
В связи с развитием промышленности и транспорта резко возросло содержание озона в приземном слое атмосферы. Источниками образования являются все искрящие и генерирующие жесткое излучение установки: электросварочные машины, системы зажигания двигателей внутреннего сгорания, рентгеновские аппараты, копировальные установки, а также искрение в трамвайных, троллейбусных линиях, линиях электропоездов и т. п. К образованию озона может приводить фотоокисление органических веществ. Известно образование озона в больших количествах в промышленных зонах, подверженных фотохимическому смогу. Смог возникает в результате загрязнения воздуха выхлопными газами автотранспорта, отходящими газами и продуктами их взаимодействия промышленных производств. Необходимое условие образования фотохимического смога - наличие в воздухе оксида азота. В результате фотохимического разложения диоксида азота:



образуется атомарный кислород, который, реагируя с молекулярным кислородом образует озон. Озонирование углеводородов, в частности олефинов, присутствующих в воздухе, приводит к образованию альдегидов, кетонов и пероксидных радикалов, которые в дальнейшем превращаются в

разнообразные сложные вещества, в том числе пероксиацилнитраты и другие токсичные соединения.

Оксиды азота являются также источниками кислотных дождей:



Аэрозоли – это твердые или жидкие частицы, взвешенные в газообразной среде. Проблему влияния аэрозоля на климат, а следовательно, и на живые организмы можно без преувеличения назвать центральной и наиболее сложной из всего комплекса проблем “аэрозоли и климат”. Дело в том, что антропогенные аэрозоли наиболее разнообразны по структуре и своим физико-химическим свойствам, а их вклад в общее содержание атмосферного аэрозоля постоянно растет и может быть резко увеличен.

Атмосферный аэрозоль является продуктом сложной совокупности химических и физических процессов. Вследствие сложности этих процессов и относительно короткого времени жизни аэрозоля его химический состав и физические характеристики очень изменчивы. Пространственно-временная изменчивость в такой степени фрагментарна, что пока еще невозможны оценки общего бюджета аэрозоля различных типов, а имеющиеся оценки мощности глобальных источников аэрозоля природного и антропогенного происхождения сугубо ориентировочны.

Несомненно, однако, что оценки, относящиеся к антропогенному аэрозолю, более достоверны, чем для природного аэрозоля (особенно в труднодоступных районах Мирового океана и континентов). Подобная ситуация определяет малую достоверность о соотношении между природным и антропогенным аэрозолем, хотя несомненно проявляющееся в глобальных масштабах воздействие хозяйственной деятельности человека на круговороты серы и азота.

Как радиационный климатообразующий фактор наибольшее значение имеет антропогенный аэрозоль, образующийся из различных продуктов сгорания. К ним в первую очередь относятся **сажевые, сернокислотные и сульфатные частицы**, а также **частицы, образующиеся из органических веществ**. Кроме того, при процессах горения в атмосферу выбрасывается большое количество **соединений тяжелых металлов**, которые обладают высокими токсичными свойствами и являются очень эффективными катализаторами атмосферных реакций окисления. Важным фактом для этих процессов аэрозолеобразования является относительно большая высота выброса значительной доли частиц в атмосферу ($Z \geq 500$ м), что при малых размерах частиц ($r \leq 1$ мкм) приводит к большому времени жизни их в

атмосфере. В результате аэрозольные частицы перемещаются на значительное расстояние, в том числе в те регионы, в которых концентрация естественного аэрозоля низка, а процессы вымывания частиц из атмосферы ослаблены. К таким регионам, в частности, относится Африка. Присутствие в атмосфере поглощающих аэрозольных частиц может существенно изменить радиационный баланс системы Земля-атмосфера при наличии сплошного снежного покрова.

Сажевые частицы образуются при неполном сгорании различных топлив. Так как парциальное давление насыщения углерода очень низкое, то образование частиц может происходить даже при небольших концентрациях элементарного углерода и недоокислившихся углеводородов. Поэтому диапазон размеров сажевых частиц очень широк. Значительная часть сажи конденсируется на уже присутствующих в воздухе частицах, образуя, по терминологии Г. В. Розенберга, покровную фазу аэрозолей. Если учесть, что массовая концентрация сажи в приземном слое в промышленно развитых районах составляет от 5 до 20 - 30 мкг/м³, то становится очевидна важная роль сажи в радиационных процессах в атмосфере промышленных центров. В ряде работ рассматривалась каталитическая и фотокаталитическая активность частиц, содержащих сажу. В основном она обусловлена присутствием в таких частицах тяжелых металлов и свободных радикалов. Это обстоятельство может иметь важное климатологическое значение при выбросах продуктов сгорания на высоту озонового слоя, так как приведет к резкому уменьшению концентрации озона.

Основным механизмом возникновения как природных, так и антропогенных сажевых частиц является пиролиз в газовой или конденсированной фазе углеродсодержащих материалов. Микрофизические характеристики продуцируемых при этом частиц зависят от специфики источника. Так, частицы, образующиеся при сгорании нефти, имеют кораллоподобную структуру и эффективную форму – сферическую; пиролиз каменного угля генерирует частицы в виде сфер, внутри которых заключены в большом количестве сферы меньших размеров, хаотически расположенные под внешней оболочкой.

На характер образующихся частиц сажи большое влияние оказывает способ сжигания. При медленном, тлеющем горении образуются крупные, хлопьеобразные частицы (поскольку при этом велика вероятность коагуляционного роста мелких, “эмбрионных” частиц). В случае быстрого горения образуются в основном мелкие частицы с $r \leq 0,1$ мкм. Сильное воздействие на микроструктуру частиц сажи оказывают также и характеристики среды, в которую они выбрасываются.

Первоначально образующиеся частицы имеют радиус 0,01-0,1 мкм. В результате коагуляции эти “эмбрионные” частицы быстро рекомбинируют, поэтому атмосферное время жизни “эмбрионных” частиц должно быть достаточно мало (менее нескольких суток).

Частицы с $r > 3$ мкм образуются в особо благоприятных условиях коагуляции и благодаря турбулентно обусловленному “механическому” подъему крупных частиц. Эти частицы довольно быстро выводятся из атмосферы гравитационной седиментацией.

Частицы же с $r = 0,1-3$ мкм (аккумулятивная мода) могут иметь достаточно большое время жизни в атмосфере, ограничиваемое сверху эффективностью механизмов стока: 1 неделя в нижней тропосфере (до высоты 1,5 км), 1 – в верхней тропосфере и более года в стратосфере.

При оценке времени жизни частиц аккумулятивной моды сажи важен вопрос о внешнем и внутреннем смешивании частиц аэрозоля. При внешнем смешивании происходит укрупнение аэрозоля за счет рекомбинации однородных частиц элементарного углерода (“молодого”). При внутреннем смешивании элементарный углерод оказывается в физическом контакте с аэрозольными частицами другого химического состава (“состарившиеся” частицы). Внешнее смешивание приводит к образованию гидрофобного аэрозоля, тогда как внутреннее смешивание, – как правило, – к образованию гигроскопических частиц. В результате механизмы вымывания этих двух видов укрупненного аэрозоля оказываются принципиально различными. Электронно-микроскопические исследования частиц сажи показывают, что “эмбрионные” частицы имеют, как правило, довольно регулярную сферическую форму; часто это агломераты в виде цепочек и скоплений. Удельная поверхность для них составляет около $1000 \text{ м}^2/\text{г}$.

В зависимости от характера горючего материала, условий протекания пиролиза и свойств среды, в которую поступают частицы сажи, поверхность последних может быть покрыта адсорбированными веществами. Часто это гидрофобные, несгоревшие полностью углеводороды. Однако покрытие может оказаться и гигроскопичным (за счет адсорбции атмосферных газов, склонных к образованию водородных и координационных связей). В чистом виде сажа абсолютно инертна при обычной температуре. Это гидрофобное нерастворимое вещество (она может быть окислена примерно при 600°C или в атмосфере F_2 , однако в реальной атмосфере такие условия не встречаются). Элементарный углерод способен реагировать с радикалами, что существенно с точки зрения протекания химических реакций в загрязненной атмосфере. В частности, наблюдается каталитическая активность сажи в реакциях окисления атмосферного SO_2 . Последние могут происходить по двум механизмам: по “сухому”

(в присутствии воды) и “мокрому”, когда сажевая частица покрыта водной пленкой. “Мокрый” механизм более эффективен, чем “сухой”.

Распределение по размерам сажевых частиц зависит не только от свойств горючего материала, но и от способа его пиролиза и характеристик окружающей среды, в которую они выбрасываются. При параметризации микроструктуры частиц от городских и лесных пожаров логнормальным распределением $r_m=0,1$ мкм, $\sigma=2,0$ для города, $r_m=0,05$, $\sigma=2,0$ – для лесного пожара. При пиролизе пропана получено трехмодальное распределение по размерам, где $r_{1m}\approx 5\cdot 10^{-3}$ мкм, $r_{2m}\approx 5\cdot 10^{-2}$ мкм, $r_{3m}\approx 0,3-0,4$ мкм. Представление аккумулятивной моды в виде степенной зависимости дается следующими показателями степени: $\gamma=4,9$ ($r<0,25$ мкм), $\gamma=4,6$ ($r<=0,35$ мкм), $\gamma=5,1-5,2$ ($r>0,4$ мкм).

Плотность сажевых частиц оценивается в $1,9-2,0$ г/см³ в зависимости от состояния пористости частиц (плотность графита составляет $2,21-2,25$ г/см³).

Высокая концентрация сажи в атмосфере может способствовать заметному нагреванию слоя, содержащего сажевые частицы, его стабилизации и увеличению времени жизни сажевых частиц. Длительному времени существования сажи в атмосфере способствует малая плотность частиц, их рыхлая «цепочечная» морфологическая структура. Из данных натурных наблюдений известно, что в атмосфере городов длительное время витают сажевые частицы, размеры которых достигают 1 мм и больше.

Частицы сажи, пироуглерода или других близких к ним по структуре углеводородов, образующихся при выделении свободного углерода, должны иметь модалный радиус $r_m\approx 0,01...0,03$ мкм. Тонкодисперсная фракция сажистых частиц в процессе гетеромолекулярной коагуляции пополняет субмикронную фракцию аэрозолей свободным углеродом, что приводит к значительному увеличению поглощающих свойств субмикронной фракции частиц, а также частиц минерального аэрозоля. При повышенной влажности атмосферы частицы аэрозоля частично или полностью растворяются, и мелкодисперсный сажистый нерастворимый аэрозоль присутствует в каплях в виде вкраплений, нарушающих ее оптическую однородность. При высокой влажности сажистые частицы промышленного аэрозоля являются ядрами конденсационного роста частиц.

В крупных промышленных центрах туман может смешиваться с промышленным дымом, образуя смог. Смоги обладают сильным токсическим воздействием и наносят огромный вред здоровью людей. Образованию смога в крупных промышленных районах способствуют сажистые частицы промышленного аэрозоля, которые являются ядрами

конденсации. Обладая высокой поглощательной способностью, сажистые частицы, поглощая коротковолновую радиацию, создают температурную инверсию. Расчеты показали, что вблизи верхней границы промышленной дымки скорость нагрева атмосферы за счет поглощения коротковолновой радиации может составлять 10-15 К/сут, в то время как поглощение излучения подстилающей поверхностью уменьшается в 1,5 раза. Изменение структуры радиационного баланса в пограничном слое атмосферы и приводит к возникновению температурной инверсии. В результате резко уменьшается турбулентный массообмен и нарушается циркуляция воздуха над промышленным районом. В ночных условиях смог создает парниковый эффект, уменьшая степень радиационного выхолаживания подстилающей поверхности.

Размеры **частиц пепла** в основном превышают 1 мкм, и, следовательно, их время жизни в атмосфере относительно невелико. По своим оптическим свойствам частицы пепла ведут себя примерно так же, как частицы почвенного происхождения, поэтому выделение этих частиц в отдельный тип для радиационных расчетов необоснованно. Однако важное значение могут иметь каталитические и фотокаталитические свойства пепла, обусловленные присутствием в нем тяжелых металлов.

В зависимости от состава или источников выделяют следующие типы природного аэрозоля:

- 1) продукты испарения морских брызг;
- 2) поднятая ветром в атмосферу минеральная пыль;
- 3) вулканический аэрозоль (как непосредственно выброшенный в атмосферу, так и образовавшийся за счет газофазных реакций);
- 4) частицы биогенного происхождения (непосредственно выброшенные в атмосферу и образовавшиеся в результате конденсации летучих органических соединений, например терпенов, а также химических реакций между этими соединениями);
- 5) дымы от сжигания биоты на суше; 6) продукты природных газофазных реакций (например, сульфаты, возникающие за счет восстановленной серы, поступающей с поверхности океана).

По этому же принципу антропогенный аэрозоль можно классифицировать следующим образом:

- 1) непосредственные промышленные выбросы частиц (например, частиц сажи, дыма, дорожной пыли и др.);
- 2) продукты газофазных реакций.

Большое внимание привлекают следующие газофазные реакции образования аэрозоля:

1) однородная гомомолекулярная нуклеация (образование новых устойчивых жидких или твердых мельчайших частиц из газовой фазы при наличии лишь одного газового компонента);

2) однородная гетеромолекулярная нуклеация (аналогичный процесс в присутствии двух или более газов);

3) гетерогенная гетеромолекулярная конденсация (рост уже существующих частиц за счет адсорбции газа).

Исключительно сложны и пока еще плохо изучены фотохимически и химические реакции, которые ответственны за первоначальную трансформацию «высоко летучего» газа в газовый компонент, являющийся исходным для образования аэрозоля. По-видимому, наиболее существенны следующие процессы:

1) реакции сернистого газа с радикалами гидроксила, которые в конечном счете приводят к образованию молекул серной кислоты и сернокислотного аэрозоля;

2) реакции неметановых углеводородных соединений с озоном и (или) радикалами гидроксила с образованием альдегидов, спиртов, карбоксильных и дикарбоксильных кислот (как правило, вторичные продукты этих реакций вступают в реакцию с оксидами азота, что приводит к образованию органических нитратов). Очень важную роль в химии атмосферы играют озон и радикалы гидроксила (НО и НО₂), которые прямо или косвенно являются продуктами фотохимических реакций (именно поэтому процессы газофазного образования частиц характеризуются обычно хорошо выраженным суточным ходом).

К числу важнейших типов атмосферного аэрозоля относятся **частицы органических соединений**. Разнообразные органические соединения участвуют в столь большом числе реакций, что исследования органического аэрозоля наталкиваются на исключительные трудности. Весьма значительна концентрация в атмосфере сажевых частиц, среднее значения которой над океанами достигают 0.5 мкг/м² и сравнимы с концентрацией минерального аэрозоля. По-видимому, источниками глобального органического аэрозоля в равной степени являются как природные, так и антропогенные, причем примерно половина поступившего в атмосферу количества природного аэрозоля приходится на долю океана.

Результаты воздействия аэрозоля на различные процессы (например, на перенос излучения) зависят, как правило, от совокупности химических и физических явлений, причем почти всегда существенную роль играет зависимость состава аэрозоля от размера его частиц. Поэтому адекватное описание свойств реального аэрозоля возможно лишь на основе использования результатов комплексного определения его характеристик. Одним из наиболее распространенных видов

измерений является определение массовой концентрации аэрозоля. Однако именно эта характеристика наименее информативна, поскольку ничего не говорит об источниках, составе аэрозоля и его возможном воздействии.

Вполне обоснованы опасения относительно возможного антропогенно обусловленного возрастания содержания аэрозоля, которое может оказывать воздействие на климат как через посредство изменения радиационного режима Земли, так и путем влияния на гидрологический цикл. Несмотря на то что имеются многочисленные данные наблюдений за дальним распространением природного и антропогенного аэрозоля от его источников, все еще отсутствует надежная информация, которая подтверждала бы наличие связи между хозяйственной деятельностью человека и трендом возрастания содержания в глобальных масштабах, имеющим значение с точки зрения воздействия на погоду и климат. Сильная пространственно-временная изменчивость характеристик аэрозоля затрудняет выделение его антропогенного компонента, которое может стать возможным лишь при условии понимания причин подобной изменчивости, что требует осуществления широкой программы комплексных исследований атмосферного аэрозоля.

Непоглощающий аэрозоль увеличивает альbedo атмосферы и, следовательно, уменьшает количество солнечной радиации, достигающей поверхности Земли. Если аэрозоль поглощает в коротковолновой области спектра, то поглощенная энергия солнечного излучения передается атмосфере. Это приводит к нагреванию атмосферы и охлаждению подстилающей поверхности. Если аэрозоль поглощает и соответственно испускает энергию в инфракрасной области спектра, то это приводит к противоположному результату, т. е. энергия выводится из тропосферы, что приводит к охлаждению воздуха и усилению парникового эффекта у поверхности Земли. Общий эффект зависит от соотношения коэффициентов поглощения в видимой и инфракрасной области, а также от альbedo поверхности. Изменение радиационных потоков в аэрозольной атмосфере приводит к изменению ее температурной стратификации, а также к изменению температуры земной поверхности.

Те же механизмы, что приводят к изменению температурного режима поверхности и атмосферы, могут влиять на точность определения температуры поверхности моря и суши из космоса, и на возникновение и поведение воздушных потоков, включая развитие струйных течений на низких высотах. Эти факторы сказываются также на точность местного и регионального прогноза погоды. Наличие сильных полос поглощения в атмосферном "окне" 8-12 мкм для аэрозоля аридного происхождения может привести к уменьшению

температуры подстилающей поверхности, которое достигает нескольких кельвинов.

Влияние аэрозоля на климат наиболее ощутимо в промышленных районах вследствие того, что воздействие его на радиационные потоки приводит к нагреванию атмосферы и стабилизации конвективных процессов. Так, в одной из работ американских ученых на базе западных районов США, показано, что присутствие аэрозоля может привести к усилению температурных инверсий и тем самым к накоплению промышленного выброса.

С помощью аэрозолей можно воздействовать на атмосферные процессы. Наука о воздействии на атмосферные процессы становится одной из важнейших, чему способствуют следующие обстоятельства. Ураганы, грозы, град, катастрофические ливни, туманы, нарушение экологического режима различных слоев атмосферы, обледенение и электрическое поражение летательных аппаратов, наземных и морских объектов и другие опасные природные явления наносят ощутимый урон народному хозяйству. Поэтому исследуются возможности прогнозировать эти явления и предотвращать их. Вместе с тем, искусственные воздействия, способствующие улучшению погодных условий, могут оказаться эффективным средством повышения урожая, улучшения видимости, ослабления катастрофических явлений и т. п.

Концентрация в атмосфере аэрозольных частиц антропогенного происхождения зависит в первую очередь от интенсивности генерации и времени их существования. Время жизни частиц определяется как размерами, так и другими их физико-химическими свойствами, а также высотой слоя атмосферы, в который они первоначально введены. В приземном слое частицы, радиус которых превышает 10 мкм, осаждаются на земную поверхность через несколько часов после поступления в атмосферу. Частицы субмикронного размера обладают высокой подвижностью и в результате интенсивного броуновского движения и коагуляции достаточно быстро укрупняются, образуя моду малых частиц. Эта мода аэрозольных частиц может находиться в воздухе достаточно длительное время и весьма эффективно рассеивает коротковолновую солнечную радиацию. Дисперсность антропогенных аэрозолей определяется характеристиками процессов образования частиц, в том числе концентрацией аэрозолеобразующего вещества и его химическим составом. Роль диспергационных процессов в образовании антропогенных аэрозолей относительно невелика (сельское хозяйство, горнодобывающая и строительная промышленность) и с каждым годом уменьшается в результате использования методов эффективного пылеподавления и пылеосаждения.

Главная задача, связанная с изучением воздействия аэрозоля на климат, состоит в учете его влияния на перенос коротковолновой и длинноволновой радиации с точки зрения тех изменений климата, которые могут порождать региональные и глобальные вариации содержания и состава аэрозоля в атмосфере. В последние годы большое внимание уделялось проблеме воздействия на климат дымового аэрозоля, образующегося в результате пожаров при ядерных взрывах в атмосфере.

Развитие численного моделирования климата определяет необходимость надежного учета влияния аэрозоля на климат на основе разработки моделей аэрозоля и оценки чувствительности климата к различным характеристикам аэрозоля. В связи с этим требуют выяснения прежде всего следующие аспекты проблемы:

1) влияние аэрозоля на процессы регионального и глобального масштаба;

2) выявление наиболее существенных (с точки зрения воздействия на климат) типов и свойств аэрозоля;

3) сравнение воздействий на региональный и глобальный климат таких факторов, как изменчивость аэрозоля, малых газовых компонентов (H_2O , O_2 , CO_2 и др.), облачности и альbedo подстилающей поверхности.

Для приближенных оценок воздействия аэрозоля на климат пригодны модели радиационно-конвективного равновесия. С помощью таких моделей было обнаружено сильное воздействие аэрозоля на вертикальный профиль температуры при большой оптической толщине аэрозоля и слабое воздействие, если оптическая толщина меньше 0,5. В зависимости от альbedo подстилающей поверхности, стратификации аэрозоля и оптических свойств облаков могут возникать эффекты как похолодания, так и потепления климата (до нескольких градусов). Значительное воздействие на климат может оказывать стратосферный аэрозоль. Учет влияния аэрозоля в рамках зональной модели общей циркуляции атмосферы (ОЦА) позволил сделать вывод о понижении температуры поверхности, достигающем нескольких $^{\circ}C$. Первоначальные расчеты с помощью трехмерных моделей ОЦА, в которых учитывались характеристики аэрозоля для района пустынь, позволили обнаружить следующее:

1) понижение температуры земной поверхности, достигающее $2,5^{\circ}C$, если аэрозоль поглощает только солнечную радиацию;

2) повышение температуры земной поверхности до $3,5^{\circ}C$, если учесть влияние аэрозоля на перенос теплового излучения (парниковый эффект);

3) значительное усиление устойчивости атмосферы вблизи земной поверхности и ослабление ее в свободной атмосфере (в верхней половине запыленной части атмосферы);

4) существенную трансформацию поля температуры за пределами запыленной части атмосферы (Западная Европа, Азия и тропическая Африка).

На живые организмы аэрозоли влияют как через изменение климатических факторов, так и непосредственно. Твердые аэрозоли забивают устьица поверхности листьев и тем самым нарушают водогазообмен клеток. Жидкие аэрозоли проникают в клетки и разрушают их изнутри. У животных и человека аэрозоли вызывают заболевания органов дыхания, на характер которых оказывает влияние и природа аэрозолей.

Контрольные вопросы

Существует ли какая-либо связь между загрязнением атмосферы и здоровьем человека?

В результате каких процессов образуется оксид углерода?

Какое воздействие он оказывает на живые организмы?

Каковы источники появления оксидов серы ?

Каким образом они влияют на человека и растения?

Какова роль оксидов серы в образовании кислотных дождей?

Что такое смог и какова роль в его образовании оксидов азота?

Каким образом оксиды азота способствуют выпадению кислотных дождей?

Присутствует ли озон в тропосфере и какова его роль?

Назовите основные источники антропогенного озона.

Как влияет увеличение озона в тропосфере на живые организмы?

Назовите вещества, разрушающие озон и опишите процессы его разрушения.

Что такое аэрозоли?

Назовите основные виды аэрозолей, оказывающих наибольшее влияние на климат и живые организмы.

Назовите основные типы природных аэрозолей.

Назовите основные типы антропогенных аэрозолей.

От каких факторов зависит концентрация аэрозолей в атмосфере?

Какие основные параметры состояния атмосферы изменяются под влиянием аэрозолей?

Какое влияние оказывают аэрозоли на живые организмы?

1.4 Антропогенное изменение климата городов

В большом количестве работ рассматривается влияние больших промышленных центров на процесс облакообразования, влияние

промышленности на термический режим атмосферы, изменение прозрачности атмосферы в результате хозяйственной деятельности человека. Известно, что изменение аэрозольной оптической толщины со временем в стратосфере после вулканических извержений, а в тропосфере от промышленных загрязнений и пылевых бурь могут вызывать климатические изменения.

Изменение мезоклимата городов, происходящее под влиянием загрязненной атмосферы изучено достаточно полно. Данные таблицы 2 характеризуют значительное отклонение метеорологических характеристик в городе по сравнению с прилегающей сельской местностью.

Даже при отсутствии смога загрязненная атмосфера сильно ослабляет приток радиации, в особенности в ультрафиолетовой области спектра земной поверхности, в некоторых случаях до 90%. Поскольку ультрафиолетовая радиация обладает бактерицидными свойствами, это явление косвенным образом может способствовать развитию вирусных и других заболеваний. В крупных городах снижается число дней с хорошей видимостью.

Одним из заметных результатов измерения метеорологического режима городской атмосферы является изменение повторяемости туманов и сильной дымки в городе.

Влияние антропогенного загрязнения атмосферы сказывается, в частности, на появлении туманов при влажности менее 100%, что свидетельствует о наличии в урбанизированных районах активных ядер конденсации, в значительной степени понижающих парциальное давление насыщенного водяного пара. Установлено, что городские туманы намного плотнее, т. е. имеют повышенную концентрацию капель, и более устойчивы, чем туманы в условиях незагрязненной атмосферы. Это явление можно объяснить более высокой концентрацией ядер конденсации в городской атмосфере. Высокие концентрации ядер конденсации чаще обуславливают наличие капель меньших размеров, поскольку данное количество влаги должно быть в этом случае распределено по большому числу ядер. Мономолекулярные пленки органических веществ, покрывающих каплю, препятствуют конденсационному росту капель за счет столкновений друг с другом, что делает туманы в городской атмосфере коллоидально устойчивыми.

Таблица 2 – Антропогенное изменение мезоклимата городов

Метеорологические характеристики	Изменение в городе по сравнению с прилегающей сельской местностью
Повторяемость туманов (смогов) зимой	> на 100%

летом	> на 30%
Количество облаков	> на 5-10%
Содержание примесей	> в 5-20 раз
УФ-радиация в среднем	< на 10%
летом	< на 40%
Количество осадков	> на 5-10%
Средняя температура годовая	> на 0.5-1 ⁰ С
зимняя	> на 1-2 ⁰ С
Средняя годовая скорость ветра	< на 20-30%
Скорость штормовых ветров	< на 10-20%

Представление о том, в какой мере человек может управлять атмосферными процессами, периодически менялось со временем. На сегодняшний день теоретически разработаны методы управления облаками, перераспределения и интенсификации осадков, борьбы с градом, рассеяния облаков и туманов, воздействия на ураганы и антициклоны, преднамеренного и непреднамеренного нарушения равновесия в ионосфере и озоносфере. Но на практике наиболее применительными из них являются методы воздействия на облака и осадки и искусственного рассеяния и создания туманов.

Контрольные вопросы

- Как меняется количество туманов в городах?
- Как меняется количество облаков в городах?
- Как меняется количество осадков в городах?
- Как меняется количество примесей в городах?
- Как меняется количество УФ-радиации в городах?
- Как меняется количество температуры в городах?
- Как меняется скорость ветра в городах?
- Какие туманы являются более устойчивыми – природные или антропогенные?
- Каким образом загрязнение атмосферы может способствовать развитию вирусных заболеваний?

1.5 Физические принципы, область применения расчетов

Для осуществления мероприятий по охране окружающей среды необходима оценка существующего и прогнозируемого санитарного состояния воздушного бассейна. Теоретической основой такой оценки является общая теория аэродинамики, базирующаяся на законах сохранения

вещества и энергии и позволяющая описывать процессы распространения примесей в атмосфере, а также предсказывать их количественные характеристики в реальной обстановке.

Методы оценки качества воздушной среды заключаются в отыскании решений уравнений диффузии примесей и разработке способов расчета загрязнений атмосферы с учетом основных природных факторов, как то: неблагоприятные метеорологические условия (температурные инверсии при слабых ветрах и штилевой погоде), температурная стратификация атмосферы (в частности, устойчивое состояние при сухоадиабатическом состоянии), фоновое загрязнение при существующих объемах промышленного производства, ветровой режим в данной местности, учитывающий повторяемость различных скоростей и направлений ветров по сезонам года. Учитываются также такие внешние факторы, как рост мощностей и объемов промышленного производства и ожидаемые вредные выбросы примесей в атмосферу.

При разработке прогнозов загрязнения воздушного бассейна необходимо учитывать физические процессы распространения примесей.

Поступившие из различных источников загрязняющие вещества переносятся в атмосфере упорядоченными (осредненными за меньшие или большие интервалы времени) воздушными потоками и распространяется под влиянием турбулентного перемешивания. Система воздушных течений в атмосфере достаточно сложная. Обычно выделяют движение мезо-, синоптического и глобального масштаба, горизонтальная протяженность которых не превышает соответственно 100-200, 1000-2000 км и нескольких тысяч километров. Атмосферный воздух перемещается не только по горизонтали, но и по вертикали. Под влиянием турбулентного обмена и вертикальных движений происходит перенос примеси из одних слоев атмосферы в другие (в частности, из тропосферы в стратосферу). Средняя продолжительность пребывания не осаждающейся (легкой) примеси составляет около 2 лет в стратосфере, 1-4 месяца в верхней тропосфере и 6-10 суток в нижней тропосфере. При таком времени существования примеси успевают распространиться на многие тысячи километров от тех мест, где они поступили в атмосферу. При средней скорости (примерно 30-35 м/с) западных потоков, наблюдаемых в верхней тропосфере и нижней стратосфере умеренных широт, аэрозоль успевает обогнуть земной шар за 10-12 суток. Скорость движения воздуха в меридиональном направлении значительно меньше зональной скорости. Вследствие этого из одной широтной зоны в другую, в том числе из северного полушария в южное, аэрозоль распространяется существенно медленнее, чем в зональном направлении.

Уравнения диффузии примесей в воздушной среде должны учитывать главные особенности физических явлений. Сильное влияние на

диффузионные процессы оказывают различные климатические зоны, особенности местного климата. Так, при низких температурах и часто возникающих инверсиях в приземном слое факел загрязняющих веществ распространяется на большие расстояния. При высоких температурах и отсутствии инверсий существенное влияние на диффузию оказывают высокие температуры воздуха. Именно они в сочетании с режимом ветров и другими особенностями климата вызывают повышение интенсивности диффузионных процессов.

Излагаемые нормативные методы расчета базируются на разработанной в Главной геофизической обсерватории Госкомгидромета России математической модели рассеивания газообразных и аэрозольных примесей в атмосфере воздуха.

Поступающие из различных источников загрязняющие вещества (примеси) распространяются в атмосфере под влиянием:

- 1) переноса их воздушными течениями;
- 2) турбулентного обмена;
- 3) захвата примесей каплями облаков и туманов и последующего вымывания осадками.

С количественной стороны изменение содержания примесей во времени и пространстве описывается *уравнением переноса примесей*.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = - \left(u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} \right) - \omega \frac{\partial c}{\partial z} + k_s \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial c}{\partial z} - \frac{c}{\tau}$$

Первое слагаемое в правой части – **адвективный приток примеси** в плоскости xu . Изолинии концентраций соответствуют розе ветров (рисунок 1.3).

Второе слагаемое в правой части – **конвективный приток примеси** в плоскостях xz, yz .

Третье слагаемое в правой части – **приток примеси под влиянием горизонтального турбулентного обмена**. Этот фактор всегда приводит к распространению (диффузии) примеси на то или другое расстояние от ее источников, в частности, в окрестностях города. Распределение примесей по горизонтали, обусловленное турбулентностью, описывается с помощью нормального закона (формулы Гаусса) и представлено на рисунке 1.3.

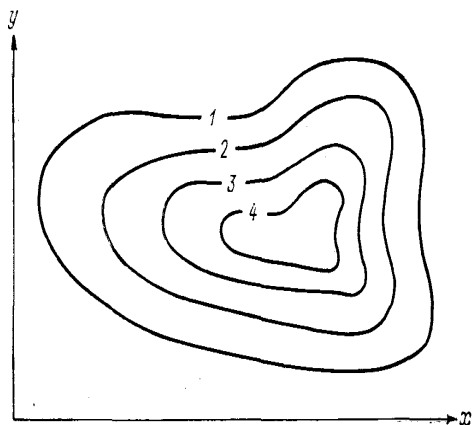


Рисунок 1.3 – Поле концентрации примесей в горизонтальной плоскости

Четвертое слагаемое в правой части уравнения - **приток примеси под влиянием вертикального турбулентного обмена**. Концентрации примесей соответствуют зависимостям, представленным на рисунке 1.4.

Пятое слагаемое в правой части уравнения описывает **убыль (отток) примеси** вследствие захвата примеси вследствие захвата примеси каплями и кристаллами облаков, туманов и осадков, а также радиоактивного распада примеси, если она радиоактивна. Под влиянием этого фактора, а также падения частиц в поле силы тяжести происходит самоочищение атмосферы. Все другие факторы лишь перераспределяют примесь в атмосфере. Наиболее сложными являются вопросы турбулентности.

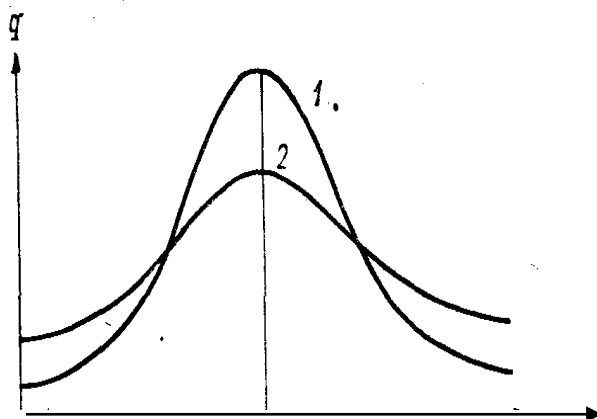


Рисунок 1.4 – Распределение примесей по горизонтали, обусловленное турбулентностью

В атмосфере постоянно образуются невидимые вихри, имеющие различные пространственные и временные масштабы. Большие вихри с течением времени распадаются на меньшие, те в свою очередь на еще более мелкие и т. д., пока энергия мельчайших вихрей не превратится в тепло. Реализуется и обратный процесс образования больших вихрей из малых. Именно эти вихри, взаимодействуя с дымовым шлейфом, «растаскивают» частицы примесей в разные стороны, что приводит к наблюдаемому увеличению его поперечных размеров. Чем больше размер аэрозольного облака, тем с большими вихрями оно может взаимодействовать. Если же размер вихря намного превосходит размер облака, то примесей не происходит.

Этот процесс оказывает сильное воздействие на итоговое распределение загрязнителей. Однако замкнутой теории для конструктивного определения турбулентных пульсаций до сих пор не создано и для вычисления коэффициентов турбулентности приходится пользоваться гипотезами о замыкании моментами первого и второго порядков, уточняя полученные результаты по данным наблюдений (например, из космоса).

В задачах о пространственно-временном распределении полей загрязняющих примесей встречаются и другие трудности, которые современная теория пока не в силах устранить.

В первую очередь это относится к взаимодействию облака примеси с земной поверхностью. Исследования в этом направлении только начаты и их следует существенно активизировать, так как воздействие

человека на экологические системы определяется в конечном счете именно характером такого взаимодействия.

Следующая серьезная проблема – определение воздействия определенного количества данного загрязнителя на конкретный объект или комплекс объектов биосферы и последствий такого продолжительного взаимодействия.

Кроме того, состав атмосферы весьма сложен. Присутствующие в ней примеси могут взаимодействовать друг с другом. В атмосфере есть и соединения, ускоряющие химические реакции, – катализаторы, а также сильные окислители и вода. Наконец, атмосферу пронизывают мощные потоки солнечной радиации, вносящие свой весомый вклад в многочисленные химические преобразования, протекающие в атмосфере. Фотохимические превращения примеси могут происходить с разной скоростью и давать в итоге различные соединения.

Таким образом, частицы примеси взаимодействуют не только с турбулентными вихрями, но и вступают в химические реакции с составными частями атмосферы..

В общем случае концентрация загрязняющих атмосферу веществ является сложной функцией координат и в каждой точке пространства изменяется под влиянием рассмотренных выше факторов во времени. Исследовать эту зависимость концентрации от координат и времени на основе уравнения можно в общем случае лишь с помощью численных методов с последующей реализацией построенного решения на ЭВМ.

В этой общей постановке исследование и количественная оценка загрязнения атмосферы примесями различного происхождения далека от завершения. Однако к настоящему времени выполнено большое число оценок загрязнения атмосферы для некоторых частных случаев, которые получаются на основе различных предположений об источниках примесей, характере движения, коэффициентов уравнений и др.

Одним из таких частных случаев является полуэмпирическое решение уравнения для точечного незатененного источника выбросов при условии

$\frac{\partial c}{\partial t} = 0$, предложенное Главной геофизической обсерваторией

Госкомгидромета России.

Методика позволяет рассчитывать концентрации вредных и любых других примесей в составе выбрасываемых газов в двухметровом слое на уровне земли, а также в вертикальном и горизонтальном сечении дымового факела на расстоянии не более 100 км от источника. В зависимости от высоты выброса от поверхности земли источники делятся на четыре класса:

- 1 высокие – более 50 м;
- 2 средние – (10 – 50) м;
- 3 низкие – (2 – 10) м ;

4 наземные (менее 2 м).

Если в процессе контакта с атмосферой под действием солнечной радиации или других факторов происходит трансформация одних соединений в другие, в концентрации и состав компонентов вносятся соответствующие поправки. В нормативах указывается, что необходимо исходить из максимально возможной степени трансформации, которая устанавливается по согласованию с Госкомгидрометом и Минздравом.

Применительно к продуктам сгорания трансформация распространяется на NO и SO₂. Как известно, на срезе дымовой трубы мы имеем дело с оксидами азота в форме NO. До NO₂ в газоходах окисляется не более 5%. В атмосфере под действием озона и других факторов степень доокисления возрастает до 60%.

Оксиды серы (примерно 5%) окисляются до SO₃ в газоходах только при сжигании высокосернистых мазутов и газов. По законам химической термодинамики, в конечном счете, весь оксид серы должен перейти в триоксид и аэрозоли серной кислоты, однако кинетика этого процесса не исследована и расчеты вредности ведутся без учета трансформации.

Нормативный метод позволяет рассчитывать поля концентраций, создаваемые дымовыми трубами, а также линейными и плоскостными источниками. Под последними понимаются вентиляционные фонари или открытые окна цехов, улицы с интенсивным движением автотранспорта и скопления многочисленных мелких низких источников.

Следует особо остановиться на вероятностной особенности рассчитываемых по нормативному методу концентраций. Используемые в теплоэнергетике и механике расчетные формулы отражают значение того или иного параметра в зависимости от совокупности определяющих рассматриваемые состояния факторов. Отклонение фактически измеряемого значения от расчетного должно укладываться в пределы погрешностей математической модели и измерений и, как правило, не превосходить десяти-двадцати процентов.

Концентрации, измеренные в натуральных условиях, как правило, во много раз ниже и только в редких исключениях выше концентраций, рассчитанных по нормативному методу для отвечающих этим условиям параметров.

Природа динамики атмосферы такова, что реально наблюдаемые под факелом концентрации подчиняются не стохастическим, а вероятностным законам и меняются в пределах, отличающихся друг от друга на несколько порядков. Рассчитанные по методике значения концентраций относятся к так называемым “неблагоприятным метеоусловиям”, продолжительность которых не превышает 1-2% (86-150 ч) в течение года. К неблагоприятным метеоусловиям относят опасную скорость ветра. Это такая скорость, при которой наблюдаются наибольшие приземные концентрации. Опасная

скорость ветра зависит от технологических параметров источника выбросов. Таким образом, на протяжении года подавляющее число фактически наблюдаемых концентраций будет значительно ниже расчетных. Следует предостеречь против отождествления расчетной концентрации со среднегодовой. Фактически измеряемая среднегодовая концентрация в 30-40 раз ниже рассчитанной. Как сказано в методике, расчетные концентрации соотносятся с 20-30-минутным интервалом осреднения. Нормативный метод позволяет определять поля концентраций как токсичных, так и любых других компонентов выбросов.

Предлагаемый метод позволяет наглядно представить и графически изобразить степень загрязнения атмосферы в зависимости от расположения источников промышленных выбросов, повторяемости ветров различных направлений и их скорости и температурной инверсии.

Расчетами определяются разовые концентрации, относящиеся к 20 – 30-минутному интервалу осреднения.

На рисунке 1.5 показано распределение концентрации вредных веществ в атмосфере над факелом организованного высокого источника выброса. По мере удаления от трубы в направлении распространения промышленных выбросов можно условно выделить три зоны загрязнения атмосферы.

Первая зона – это переброс факела выбросов, характеризующийся относительно невысоким содержанием вредных веществ в приземном слое атмосферы.

Вторая зона – это задымление с максимальным содержанием вредных веществ. Зона задымления является наиболее опасной для населения и должна быть исключена из селитебной застройки. Размеры этой зоны в зависимости от метеорологических условий находятся в пределах 10-49 высот трубы.

Третья зона – это постепенное снижение уровня загрязнения. Однако это снижение до нормативного уровня может простираться на многие километры.

Загрязненность воздуха вредными веществами зависит, как от количества выбросов и их характеристик, так и от метеорологических условий. Метеорологические условия могут благоприятствовать накоплению вредных веществ или, наоборот, способствовать рассеиванию или переносу их воздушными течениями.

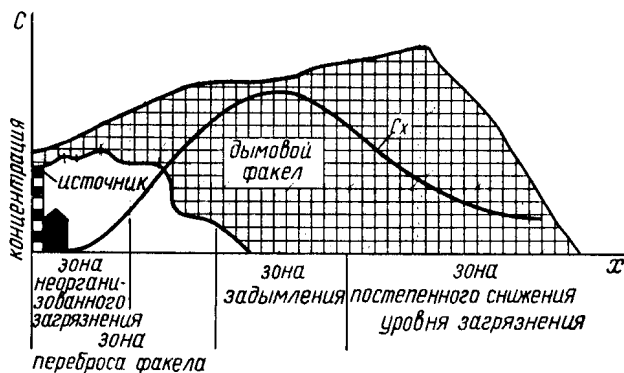


Рисунок 1.5 – Распределение концентрации вредных веществ в атмосфере от организованного высокого источника выбросов

Характер связи между загрязнением атмосферы в городе и скоростью ветра в значительной степени соответствует закономерностям, установленным для источников различного типа. Влияние данного фактора на концентрацию примесей в городском воздухе проявляется двояким образом. С одной стороны, усиление ветра способствует рассеиванию примесей в атмосфере. Очевидно, что усиление ветра, как у земли, так и на более высоких уровнях определяют вынос всей массы загрязненного воздуха за пределы города и очищению воздушного бассейна. Повидимому, в отдельных городах указанная закономерность является преобладающей.

Наряду с этим ослабление ветра приводит к увеличению подъема перегретых выбросов, который особенно значителен при штиле, и, следовательно, к уменьшению концентрации примесей в приземном слое воздуха. Результаты выполненной обработки обширного материала фактических наблюдений в ряде городов СНГ показывают, что и при анализе загрязнения городского воздуха, отмеченные эффекты проявляются достаточно четко. Обнаружены два максимума концентраций в зависимости от скорости ветра на уровне флюгера: при штиле и при скорости 4 - 7 м/сек.

Результаты анализа связей между концентрациями примесей в городском воздухе и скоростью ветра соответствует имеющимся физическим представлениям и выводам теоретических исследований. Два максимума концентраций, очевидно, связаны с вкладом двух групп источников. При штиле основную роль в загрязнении воздуха играют низкие выбросы. Именно поэтому штилевой максимум наиболее выражен

зимой, когда вследствие пониженного турбулентного обмена ослаблено рассеивание низких и поступление в приземной слой высоких источников выбросов.

Усиление второго максимума концентрации (при скорости ветра от 4 до 7 м/с) связано с интенсивным поступлением к земле выбросов от высоких источников (рисунок 1.6 д).

Известно, что с увеличением высоты температура воздуха в основном понижается. И чем сильнее понижается температура с высотой, тем интенсивнее перемешивается воздух. Нагретый у земли воздух становится менее плотным и поднимается вверх, способствуя очищению городского воздуха от загрязняющих веществ в нижних слоях атмосферы (рисунок 1.6 а).

В ряде случаев в основном при излучении земной поверхности в ясные ночи наблюдается обратное распределение температуры с высотой, т.е. рост температуры с высотой (инверсия). Иногда инверсии формируются на некоторой высоте над поверхностью земли - приподнятые инверсии. Инверсии препятствуют развитию конвективных движений (они получили название задерживающих слоев) и способствуют накоплению загрязнения в приземном слое. Поэтому при инверсиях концентрации вредных веществ у земли возрастают.

В годовом ходе наиболее тонкие приземные инверсии в Беларуси наблюдаются летом. Начиная с осени, мощность инверсий растет и достигает максимум (440-460 м) зимой. Независимо от высоты нижней границы мощность приподнятых инверсий колеблется от 100 до 380 м.

Повышение температуры воздуха с высотой приводит к тому, что выбросы из труб не могут подниматься выше определенного уровня "потолка".

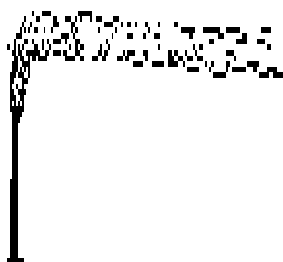
Низко расположенные приподнятые инверсии на уровне источников выброса способствуют возникновению эффекта, называемого "задымлением". При этом примеси, скапливающиеся на уровне 100-300 м, начинают интенсивно поступать в нижний слой воздуха, при этом высота источников выброса не играет существенной роли и загрязнение приземного слоя осуществляется от всех труб одновременно (рисунок 1.6 ж).

Следует добавить, что кроме рассмотренных вариантов (а, д, ж) дымового факела, могут наблюдаться следующие формы:

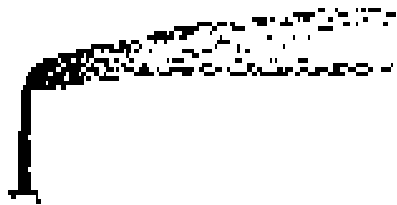
б) факел имеет Г-образную форму: дым сначала поднимается вертикально, а затем смещается горизонтально по ветру, характерен для нулевого или отрицательного градиента температуры при штиле.



а)



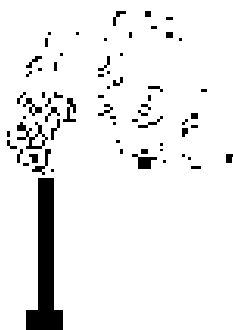
б)



в)



г)



д)



ж)

Рисунок 1.6(а, б, в, г, д, ж) – Формы дымовых факелов при различных метеорологических условиях

в) факел в начале направлен под углом к горизонту, а затем смещается горизонтально по ветру, характерен для нулевого или отрицательного градиента температуры при слабой скорости ветра.

г) факел горизонтален, незначительно расширяется по мере удаления от трубы, он характерен для вечернего времени при градиенте температуры, близком к нулевому, и умеренной скорости ветра.

Таким образом, можно заключить, что при очень слабом ветре и неустойчивой стратификации в случае горячих выбросов приземная концентрация мала за счет значительного увеличения начального подъема факела от источника. При наличии же приподнятой инверсии и потолка на сравнительно небольшой высоте от источника – величина подъема дымового факела ограничена. Концентрация вредных примесей возрастает при скоростях ветра, близких к опасным, за счет поступления вредных примесей от высотных источников в нижний приземный слой воздуха. При штиле и приподнятой инверсии на уровне источника выбросов отмечаются самые высокие уровни концентрации вредных примесей приземного слоя воздуха, т.е происходит “задымление”.

Базовые формулы были выведены для равнинного ландшафта $\eta=1$. Методика по расчету поправок, позволяющих учесть особенности рельефа и допускающие типизацию приводятся в методическом пособии «Охрана атмосферного воздуха при производстве строительных работ». Наиболее распространенным случаем является размещение предприятий на высоком или пойменном берегу реки с перепадом высот h_0 . Если источник размещен на нижнем уступе, повышение приземных концентраций обуславливается торможением воздушного потока и совпадает с откосом. Размещение источника на верхнем уступе эквивалентно большей высоте трубы и несколько снижает концентрацию на нижнем. Следует предостеречь от геометрического сложения H и h_0 , так как степень реального влияния на концентрации значительно слабее. Не менее распространены углубления типа каньона с протекающей внизу рекой или без нее. К этой категории можно отнести котлованы от выработки открытым способом. Над такими выемками концентрации возрастают. Гряды или горный кряж на пути факела дают повышение концентрации на обоих склонах. Надо иметь в виду, что при современных трубах высотой более 300 м под термин “гряда” попадают горы высотой более 500 м.

Все описанные препятствия предполагаются единственными и вытянутыми в одном направлении, а расчеты применимы к случаю, когда факел перпендикулярен оси препятствия.

Общая картина возможного загрязнения городской территории представлена на рисунке 1.7.

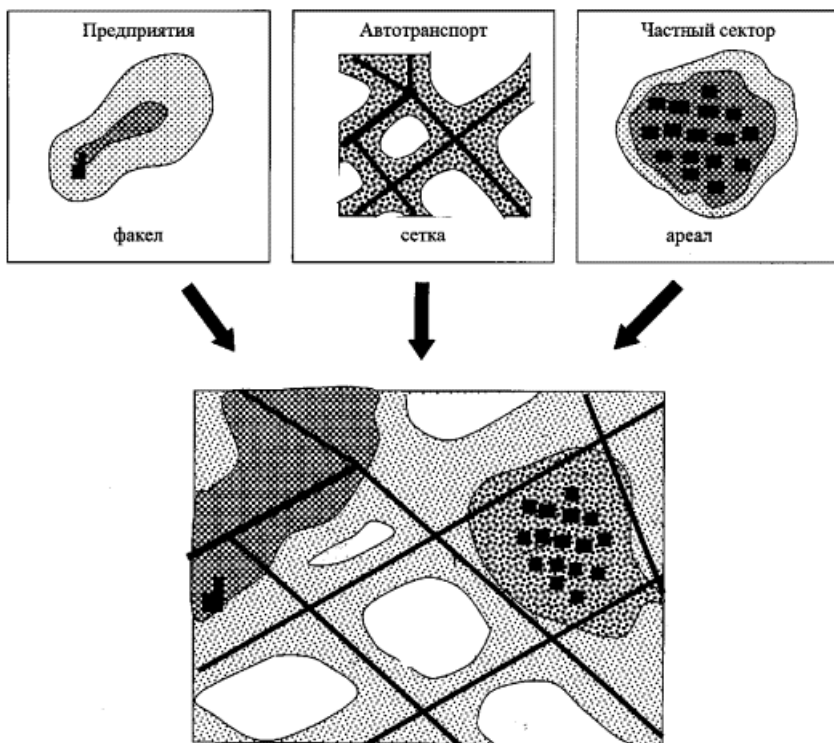


Рисунок 1.7 – Схема загрязнения городской территории

Контрольные вопросы

- На какие классы делят точечные источники выбросов?
- Выбросы каких источников позволяет рассчитать методика?
- На каких законах базируется прогноз санитарного состояния воздушного бассейна?
- Каким уравнением описывается распространение примесей в атмосфере?
- Какие основные природные факторы учитываются в расчетах?
- Что означает адвективный приток примеси?
- Каков характер их влияния?
- Что означает конвективный приток примеси?

Каков характер их влияния?

Что означает приток примеси под влиянием горизонтального турбулентного обмена?

Каков характер их влияния?

Что означает приток примеси под влиянием вертикального турбулентного обмена?

Каков характер их влияния?

За счет каких процессов происходит убыль (отток) примеси?

Каков характер их влияния?

Какие три зоны загрязнения атмосферы можно условно выделить по мере удаления от источника?

Влияет ли скорость ветра на форму дымового факела?

Какие бывают формы факелов и при каких условиях?

Что такое опасная скорость ветра?

Отличается ли фактически измеренная среднегодовая концентрация примесей от расчетной?

Позволяет ли методика графически изобразить степень загрязнения атмосферы в зависимости от различных факторов?

Для какого типа рельефа были выведены базовые формулы?

1.7 Нормирование качества атмосферного воздуха

Основной характеристикой качества атмосферного воздуха является концентрация загрязняющих веществ c , мг/м³ – масса (мг) вещества в единице объема (м³) воздуха при нормальных метеорологических условиях.

Нормирование содержания вредных веществ в воздухе производится по предельно допустимым концентрациям (ПДК) для атмосферного воздуха.

ПДК – это максимальная концентрация примеси в атмосфере, которая не оказывает на человека и его потомство ни прямого, ни косвенного воздействия, не ухудшает его работоспособности и санитарно-бытовых условий.

Различают три вида ПДК.

ПДК_{с с} – среднесуточная,

ПДК_{м р} – максимально-разовая,

ПДК_{р з} – рабочей зоны.

ПДК_{с с} устанавливается для предупреждения общетоксических, канцерогенных, мутагенных и др. влияний на организм человека при неограниченно длительном контакте, например, в течение жизни.

ПДК_{с с} используется для нормирования качества воздуха в жилых районах. ПДК примесей населенных мест регламентируется по списку Минздрава № 3086-84.

ПДК_{м р} устанавливается для предотвращения рефлекторных реакций (например, ощущение запаха или жжения) у человека при кратковременном воздействии (до 20 минут).

ПДК_{м р} используется для нормирования предельно-допустимых выбросов предприятий (ПДВ).

ПДК_{р з} устанавливается для рабочих мест, т.е. тех мест, где человек работает по 8 часов в день или 40 часов в неделю. Определяется на высоте 2 метра от поверхности пола или земли.

ПДК_{р з} регламентируется по ГОСТ 12.1.005-88.

Используется также приведенная концентрация q , которая является безразмерной и показывает во сколько раз фактическая концентрация c превышает норматив:

$$q = \frac{c}{ПДК}, \quad (1.1)$$

где c – фактическая концентрация примесей в атмосфере, мг/м³,
ПДК – предельно-допустимая концентрация, мг/м³.

При одновременном совместном присутствии в атмосферном воздухе нескольких (n) веществ, обладающих в соответствии с перечнем, утвержденным Минздравом, суммацией вредного действия, т.е. однонаправленным вредным действием приведенная концентрация q определяется по формуле:

$$q = \frac{c_1}{ПДК_1} + \frac{c_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{c_n}{ПДК_n} \leq 1, \quad (1.2)$$

где c_1, c_2, \dots, c_n – фактические (расчетные или измеренные концентрации) вредных веществ в атмосферном воздухе в одной и той же точке местности, мг/м³.

ПДК₁, ПДК₂, ... ПДК_n – соответствующие предельно-допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе.

Расчет концентрации вредных веществ, претерпевающих полностью или частично химические превращения (трансформацию) в более вредные вещества, проводится по каждому исходному и образующемуся веществу отдельно. При этом мощность источников для каждого вещества устанавливается с учетом максимально возможной трансформации исходных веществ в более токсичные. Степень указанной трансформации устанавливается по согласованию с Госкомгидрометом и Минздравом.

Контрольные вопросы

- Что является основной характеристикой качества атмосферного воздуха?
- Что такое предельно допустимая концентрация?
- Что такое ПДК среднесуточная?
- Что такое ПДК максимально-разовая?
- Что такое ПДК рабочей зоны?
- Что такое приведенная концентрация?
- Каков ее физический смысл?
- Что означает эффект суммации?
- Каким образом его учитывают в расчетах?
- В чем заключается трансформация примесей?
- Как этот процесс учитывается в расчетах?

1.8 Предельно-допустимые выбросы предприятий

Предельно допустимые выбросы вредных веществ (ПДВ) промышленными предприятиями в атмосферу регламентируются ГОСТ 17.2.3.02-78 [22] и ОНД-86 [2]. Указанные документы определяют ПДВ каждого конкретного предприятия из условия, чтобы сумма созданных всеми этими предприятиями приземных концентраций данного вещества или их комбинаций не превышала предельно допустимой концентрации (ПДК). Таким образом, ПДВ, коль скоро они утверждены, являются всего лишь средством текущего контроля за деятельностью предприятия и никаким образом не отражают экологического уровня данного производства. Как следует из предложенной М.Е. Берляндом методики расчета рассеивания, необходимые приземные концентрации могут быть достигнуты сокращением выбросов M или увеличением высоты дымовой трубы H . Поскольку стоимость строительства труб и стоимость их эксплуатации на несколько порядков меньше, чем стоимость и обслуживание газоочистки, именно высокие трубы стали основным средством снижения концентраций оксидов серы и азота в приземном слое. Сегодня высота труб уже приближается к 500 м, и технических пределов их дальнейшего роста не просматривается.

Расчет ПДВ в тоннах за год, как количества вредных веществ, которое не разрешается превышать при выбросе в атмосферу является обязательным. Устанавливаются также контрольные значения ПДВ в граммах за секунду (максимально разовые выбросы), которые не должны превышать в любой двадцатиминутный интервал времени. Кроме того, контроль ПДВ ведут в среднем за сутки, месяц, год.

ПДВ устанавливают для каждого источника загрязнения атмосферы. Для неорганизованных выбросов и совокупности мелких одиночных

источников, например вентиляционных выбросов, устанавливают суммарный ПДВ.

Если на данном предприятии или группе предприятий, расположенных в одном районе, значения ПДВ по объективным причинам не могут быть достигнуты в настоящее время, по согласованию с Комитетом природных ресурсов и охраны окружающей среды допускается планировать поэтапное, с указанием продолжительности каждого этапа, снижение выбросов до величин, обеспечивающих соблюдение ПДК. При этом значения временно согласованных выбросов (ВСВ) должны устанавливаться с учетом передового экологического опыта в технологии данного производства. ПДВ и ВСВ пересматривают не реже одного раза в пять лет.

Контрольные вопросы

Что такое предельно допустимые выбросы вредных веществ?

Какими документами они регламентируются?

С какой целью устанавливают ПДВ предприятиям?

Что такое максимально разовые выбросы?

Как устанавливается ПДВ для неорганизованных выбросов и совокупности мелких одиночных источников?

Что такое временно согласованные выбросы (ВСВ) и с кем они согласовываются?

Как часто пересматриваются ПДВ и ВСВ?

2 РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ОДИНОЧНОГО ИСТОЧНИКА

2.1 Горячие выбросы ($\Delta T > 0$)

2.1.1 Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества c_m (мг/м³) и выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии x_m (м) от источника и определяется по формуле:

$$c_m = \frac{AMFm\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}} \quad (2.1)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы; $c^{1/3}$ град^{2/3} мг/г;

M – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени; г/с;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;

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

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

η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, $\eta = 1$;

ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_g и температурой окружающего атмосферного воздуха $T_0, ^\circ\text{C}$;

V_1 – расход газовой смеси, определяемый по формуле

$$V_1 = \frac{\pi \times D^2}{4} \omega_0, \quad (2.2)$$

где D – диаметр устья источника выброса, м;

ω_0 – средняя скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса, (м/с).

Значение коэффициента A , соответствующее неблагоприятным метеорологическим условиям, при которых концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе максимальна, принимается равным:

а) 250 – для районов Средней Азии южнее 40° с.ш., Бурятской АР и Читинской области;

б) 200 – для Европейской территории России: для районов южнее 50° с.ш., для остальных районов Нижнего Поволжья, Кавказа, для Азиатской территории России: Дальнего Востока и остальной территории Сибири; для Казахстана, Средней Азии и Молдовы;

в) 180 – для Европейской территории России и Урала от 50° до 52° с.ш. за исключением попадающих в эту зону перечисленных выше районов;

г) 160 – для Европейской территории России и Урала севернее 52° с.ш. (за исключением Центра Европейской территории), а также для Украины (для расположенных на Украине источников высотой менее 200 м в зоне от 50° до 52° с.ш.–180, а южнее 50° с.ш.– 200) ;

д) 140 – для Московской, Тульской, Рязанской, Владимирской, Калужской, Ивановской областей.

Для других территорий значения коэффициента A должны приниматься соответствующими значениям коэффициента A для районов России со сходными климатическими условиями турбулентного обмена.

Значения мощности выброса M (г/с) и расхода газовой смеси V_1 (м³/с) при проектировании предприятий определяются расчетом в технологической части проекта или принимаются в соответствии с действующими для данного производства (процесса) нормативами. В расчете принимаются сочетания M и V_1 , реально имеющие место в течение года при установленных (обычных) условиях эксплуатации предприятий, при которых достигаются максимальные значения c_m .

Значение M следует относить к 20-30-минутному периоду осреднения, в том числе и в случаях, когда продолжительность выброса мене 20 минут.

Расчеты концентраций, как правило, проводятся по тем веществам, выбросы которых удовлетворяют требованиям п. 5.21.

При определении значения ΔT следует принимать температуру окружающего атмосферного воздуха T_0 , равной средней максимальной температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца года по СНиП 2.01.01-82, а температуру выбрасываемой в атмосферу газовой смеси T_T – по действующим для данного производства технологическим нормативам.

Для котельных, работающих по отопительному графику, допускается при расчетах принимать значения T_0 , равными средним температурам наружного воздуха за самый холодный месяц по СНиП 2.01.01-82.

При отсутствии данных по T_0 в СНиП 2.01.01-82. они запрашиваются территориальном управлении Госкомгидромета (УГКС) по месту расположения предприятия.

Значение безразмерного коэффициента F принимается:

а) для газообразных вредных веществ и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т.п.; скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю) – 1;

б) для мелкодисперсных аэрозолей (кроме указанных в п. 2.5а) при среднем эксплуатационном коэффициенте очистки выбросов θ :

не менее 90% (либо скорости оседания аэрозолей $v_{oc} \leq 1$ см/с) – 2;

от 75 до 90% (или при $1 < v_{oc} \leq 20$) – 2,5;

менее 75% и при отсутствии очистки (или при $v_{oc} > 20$) – 3 .

При наличии данных о распределении на выбросе частиц аэрозолей по размерам определяются диаметр d_g , так что масса всех частиц диаметром больше d_g составляет 5% общей массы частиц, и соответствующая d_g скорость оседания (витания) v_g , м/с.

Скорость витания частицы рассчитывается по закону Стокса:

$$v_g = g d^2 \rho / 18 \mu , \quad (2.3)$$

где d – диаметр частицы, м;

ρ – плотность частицы, кг/м³;
 μ – динамическая вязкость воздуха, н·с/м²;
 g – ускорение свободного падения, м/с.

Уравнение Стокса предполагает сферическую форму частиц. Поскольку реальные частицы не сферичны, скорости их витания ниже, то расчет содержит некоторый запас экологической надежности.

В этом случае значения коэффициента F устанавливается в зависимости от безразмерного отношения, v_g/u_m , где u_m – опасная скорость ветра, определяемая по формулам 2.14 – 2.16. При этом принимает значения

$$F = 1 \text{ при } v_g / u_m \leq 0,015;$$

$$F = 1,5 \text{ при } 0,015 < v_g / u_m \leq 0,030;$$

$$F = 2 \text{ при } v_g / u_m > 0,03 \text{ и степени очистки } \theta > 90\%;$$

$$F = 2,5 \text{ при } v_g / u_m > 0,03 \text{ и степени очистки } 75 < \theta < 90\%;$$

$$F = 3 \text{ при } v_g / u_m > 0,03 \text{ и отсутствии очистки}$$

Вне зависимости от эффективности очистки значение коэффициента F принимается равным 3 при расчетах концентраций пыли в атмосферном воздухе для производств, в которых содержание водяного пара в выбросах достаточно для того, чтобы в течение всего года наблюдалась его интенсивная конденсация сразу же после выхода в атмосферу, а также коагуляция влажных пылевых частиц (например, при производстве глинозема мокрым способом).

Значения коэффициента m определяются в зависимости от параметра f

$$f = 1000 \frac{w_0^2 D}{H^2 \Delta T}; \quad (2.4)$$

При $f < 100$ коэффициент m определяется по формуле

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} \quad (2.5)$$

При $f > 100$ коэффициент m определяется по формуле

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \quad (2.6)$$

Коэффициент n определяется в зависимости от параметра v_m

$$v_m = 0,65\sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}}; \quad (2.7)$$

Коэффициент n определяется по формулам

$$n = 1 \text{ при } v_m \geq 2; \quad (2.8)$$

$$n = 0,532v_m^2 - 2,13v_m + 3,13 \text{ при } 0,5 \leq v_m < 2; \quad (2.9)$$

$$n = 4,4v_m \text{ при } v_m < 0,5 \quad (2.10)$$

Если при этом $v_m < 0,5$ (случай предельно малых опасных скоростей ветра), то расчет c_m вместо (2.1) производится по формуле:

$$c_m = \frac{AMFm' \eta}{H^{7/3}}, \quad (2.11)$$

где $m' = 2,86m$.

2.1.2 Расстояние x_m от источника выбросов, на котором концентрация загрязняющих веществ c при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения c_m , определяется по формуле, m

$$x_m = \frac{5-F}{4} dH, \quad (2.12)$$

где безразмерный коэффициент d находится по формулам

$$d = 2,48 \times (1 + 0,28 \times \sqrt[3]{f}) \text{ при } v_m \leq 0,5; \quad (2.13)$$

$$d = 4,95v_m \times (1 + 0,28 \times \sqrt[3]{f}) \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2; \quad (2.14)$$

$$d = 7\sqrt{v_m} \times (1 + 0,28 \times \sqrt[3]{f}) \text{ при } v_m > 2. \quad (2.15)$$

Концентрации, рассчитанные по формуле 2.12, представляют собой координатные максимумы, наблюдаемые под осью факела на расстоянии x_m от источника при опасной скорости ветра. Дальше и ближе x_m и при удалении от оси концентрации падают.

2.1.3 Опасная скорость ветра u_m на уровне флюгера (10 м от уровня земли), при которой достигается наибольшее значение приземной концентрации вредных веществ c_m , определяется по формулам, m/c

$$u_m = 0,5 \text{ при } v_m \leq 0,5; \quad (2.16)$$

$$u_m = v_m \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2; \quad (2.17)$$

$$u_m = v_m (1 + 0,12\sqrt{f}) \text{ при } v_m > 2. \quad (2.18)$$

2.1.4 Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества $c_{ми}$ при неблагоприятных метеорологических условиях и скорости ветра u , отличающейся от опасной скорости ветра u_M , определяется по формуле, мг/м³

$$c_{ми} = rc_M \quad (2.19)$$

где r – безразмерная величина, определяемая в зависимости от отношения u/u_M по формулам

$$r = 0,67(u/u_M) + 1,67(u/u_M)^2 - 1,34(u/u_M)^3 \quad (2.20)$$

при $u/u_M \leq 1$;

$$r = \frac{3(u/u_M)}{2(u/u_M)^2 - (u/u_M) + 2} \quad (2.21)$$

при $u/u_M > 1$

При проведении расчетов не используются значения скорости ветра $u < 0,5$, а так же скорости ветра $u > u^*$, где u^* – значение скорости ветра, превышаемое в данной местности в среднем многолетнем режиме в 5% случаев. Это значение запрашивается в УГКС Госкомгидромета, на территории которого располагается предприятие или определяется по климатическому справочнику.

2.1.5 Расстояние от источника выброса $x_{ми}$, на котором при скорости ветра u и неблагоприятных метеорологических условиях приземная концентрация вредных веществ достигает максимального значения $c_{ви}$, определяется по формуле

$$x_{ми} = px_M, \quad (2.22)$$

где p – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения u/u_M по формулам

$$p = 3 \text{ при } u/u_M \leq 0,25; \quad (2.23)$$

$$p = 8,43(1 - u/u_M)^5 + 1 \text{ при } 0,25 < u/u_M \leq 1; \quad (2.24)$$

$$p = 0,32u/u_M + 0,68 \text{ при } u/u_M \geq 1 \quad (2.25)$$

2.1.6 При опасной скорости ветра u_M приземная концентрация вредных веществ c (мг/м³) в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях x (м) от источника выброса определяется по формуле

$$c = s_1 c_M, \quad (2.26)$$

где s_1 – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения x/x_m и коэффициента F по рис. 2.1 или по формулам:

$$s_1 = 3(x/x_m)^4 - 8(x/x_m)^3 + 6(x/x_m)^2 \text{ при } x/x_m \leq 1; \quad (2.27)$$

$$s_1 = \frac{1,13}{0,13(x/x_m)^2 + 1} \text{ при } 1 < x/x_m \leq 8; \quad (2.28)$$

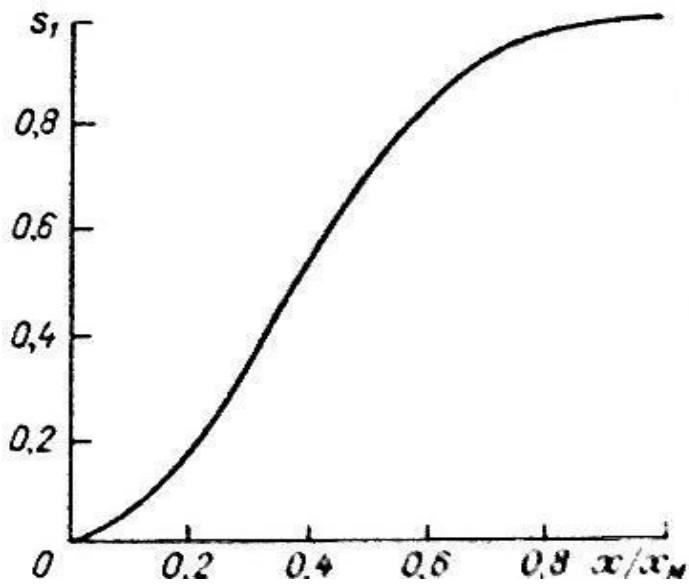
$$s_1 = \frac{x/x_m}{3,58(x/x_m)^2 - 35,2(x/x_m) + 120} \text{ при } F \leq 1,5 \text{ и } x/x_m > 8; \quad (2.29)$$

$$s_1 = \frac{1}{0,1(x/x_m)^2 + 2,47(x/x_m) - 17,8} \text{ при } F > 1,5 \text{ и } x/x_m > 8. \quad (2.30)$$

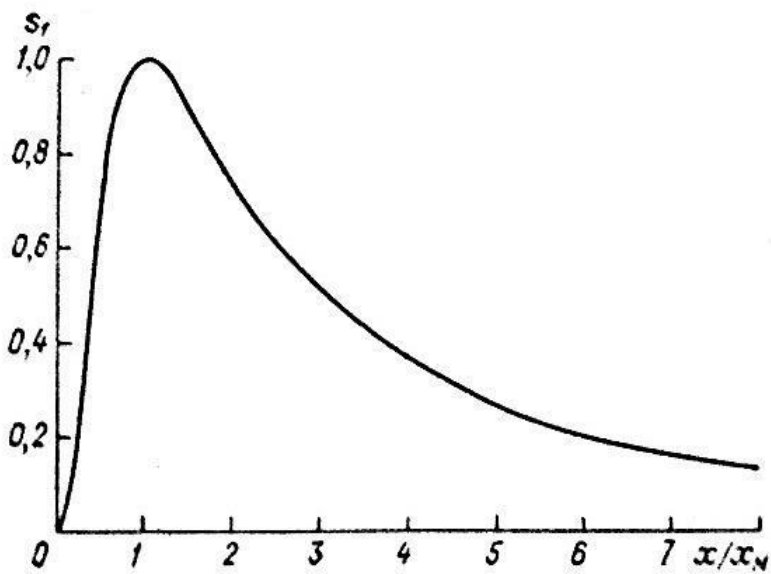
Для низких и наземных источников (высотой H не более 10 м) при значениях $x/x_m < 1$ величина s_1 в (2.22) заменяется на величину s_1^H , определяемую в зависимости от x/x_m и H по рис. (2.5) или по формуле

$$s_1^H = 0,125(10 - H) + 0,125(H - 2)s_1 \text{ при } 2 \leq H < 10. \quad (2.31)$$

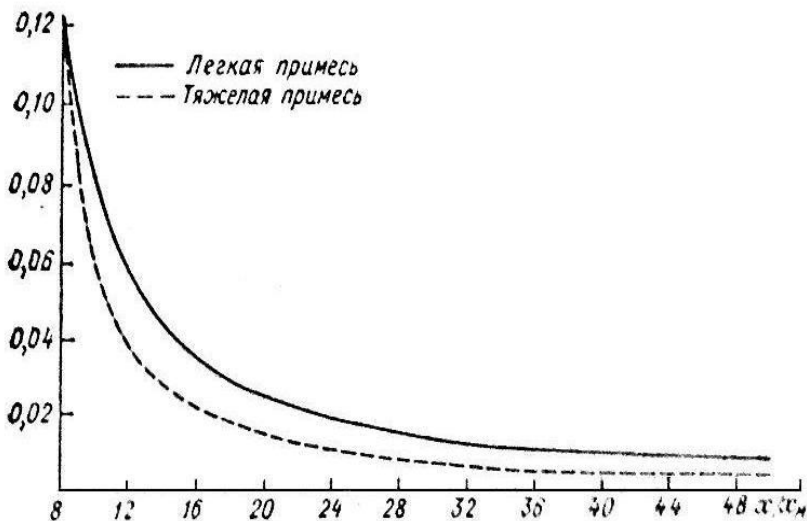
Аналогично определяется значение концентрации вредных веществ на различных расстояниях по оси факела при других значениях скоростей ветра u и неблагоприятных метеорологических условиях. По формулам (2.19), (2.22) определяются значения величин c_{mi} и x_{mm} . В зависимости от отношения x/x_{mi} определяется значение s_1 по формулам (2.27–2.30). Искомое



a)



b)



в)

Рисунок 2.1 (а, б, в) – Графики нахождения параметра S_1

значение концентрации вредного вещества определяется путем умножения $c_{ми}$ на S_1 .

2.1.7 Значение приземной концентрации вредных веществ в атмосфере c_y ($мг/м^3$) на расстоянии y (м) по перпендикуляру к оси факела выброса определяется по формуле

$$c_y = S_2 c, \quad (2.32)$$

где s_2 – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от скорости ветра u (м/с) и отношения y/x по значению аргумента t_y :

$$t_y = \frac{uy^2}{x^2} \text{ при } u \leq 5; \quad (2.33)$$

$$t_y = \frac{5y^2}{x^2} \text{ при } u > 5, \quad (2.34)$$

по формуле

$$S_2 = \frac{1}{(1 + 5t_y + 12,8t_y^2 + 17t_y^3 + 45,1t_y^4)^2}, \quad (2.35)$$

2.1.8 Максимальная концентрация $c_{мх}$ ($мг/м^3$), достигающаяся на расстояниях x от источника выброса на оси факела при скорости ветра $u_{мх}$, определяется по формуле

$$c_{mx} = S'_1 c_m, \quad (2.36)$$

где безразмерный коэффициент s'_1 находится в зависимости от отношения x/x_m по формулам

$$S'_1 = 3(x/x_m)^4 - 8(x/x_m)^3 + 6(x/x_m)^2 \quad \text{при } x/x_m \leq 1; \quad (2.37)$$

$$S'_1 = \frac{1,1}{0,1(x/x_m)^2 + 1} \quad \text{при } 1 < x/x_m \leq 8; \quad (2.38)$$

$$S'_1 = \frac{2,55}{0,13\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 + 9} \quad \text{при } 8 < \frac{x}{x_m} \leq 24; \quad (2.39)$$

$$S'_1 = \frac{x/x_m}{4,75\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 - 140\frac{x}{x_m} + 1435} \quad \text{при } 24 < \frac{x}{x_m} \leq 80; F \leq 1,5; \quad (2.40)$$

$$S'_1 = \frac{2,26}{0,1\left(\frac{x}{x_m}\right) + 7,41\frac{x}{x_m} - 160} \quad \text{при } \frac{x}{x_m} > 80; F \leq 1,5; \quad (2.41)$$

$$S'_1 = \frac{x/x_m}{3,58\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 - 35,2\frac{x}{x_m} + 120} \quad \text{при } \frac{x}{x_m} > 80; F \leq 1,5 \quad (2.42)$$

$$S'_1 = \frac{1}{0,1\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 + 2,47\frac{x}{x_m} - 178} \quad \text{при } \frac{x}{x_m} > 80; F > 1,5. \quad (2.43)$$

Скорость ветра u_{mx} при этом рассчитывается по формуле

$$u_{mx} = f_1 u_m, \quad (2.44)$$

где безразмерный коэффициент f_1 определяется в зависимости от отношения x/x_m по формулам

$$f_1 = 1 \quad \text{при } x/x_m \leq 1; \quad (2.45)$$

$$f_1 = \frac{0,75 + 0,25x/x_m}{1 + (x/9x_m)^9} \quad \text{при } 1 < x/x_m \leq 8; \quad (2.46)$$

$$f_1 = 0,25 \quad \text{при } 8 < x/x_m < 80; \quad (2.47)$$

$$f_1 = 1,0 \quad \text{при } x/x_m \geq 80 \quad (2.48)$$

Если рассчитанная по формуле (2.44) скорость ветра $u_{mx} < 0,5$ м/с или $u_{mx} > u^*$ (см. п. 2.1.4), то величина c_{mx} определяется как максимальное значение из концентраций на расстоянии x , рассчитанных при трех скоростях ветра: 0,5 м/с, u_m , u^* ; соответствующая c_{mx} скорость ветра принимается за u_{mx} .

2.1.9 Расчеты распределения концентраций c_z (мг/м³) на разных высотах z (м) над подстилающей поверхностью при $x < x_{mu}$ производятся по формуле

$$c_z = rc_m S_z S_2. \quad (2.50)$$

Значения c_m , γ и s_2 вычисляются согласно п.п. 2.1, 2.1.4 и 2.1.7, а коэффициент s_z определяется в зависимости от параметров b_1 и b_2 по формулам

$$S_z = S_1(b_1) \frac{\left[1 + 0,1(b_2 - 1)^2\right]}{\left[b_1^3 + 0,1(b_2 - 1)^2\right]} \left[1 + \frac{(b_2 + 0,2)(b_1^3 - 1)}{b_2 + (b_2 + 0,2)(1 + 0,1(b_2 - 1)^2)}\right], \quad (2.51)$$

при $b_1 \leq 1$;

$$S_z = S_1(b_1) \quad (2.52)$$

при $b_1 > 1$.

где

$$b_1 = x / x_{mu}, \quad (2.53)$$

$$b_2 = \frac{z}{(1 + 5d_2)H}, \quad (2.54)$$

$$d_2 = 0,06v_m \sqrt[3]{f} / u + 0,0034 (v_m / u)^3 \quad (2.55)$$

Опасная скорость ветра u_{mz} (м/с) на уровне флюгера, при которой на высоте z достигается максимальная концентрация, определяется по формуле

$$u_{mz} = l_1 u_m \quad (2.56)$$

Коэффициент l_1 определяется в зависимости от x / x_m по рис. 2.10.

2.16. Расчеты загрязнения атмосферы при выбросах газозвушной смеси из источника с прямоугольным устьем (шахты) производятся по

приведенным выше формулам при средней скорости ω_0 и значениях $D = D_9$ (м) и $V_1 = V_{19}$ (м³/с).

Средняя скорость выхода в атмосферу газовой смеси ω_0 (м/с) определяется по формуле

$$\omega_0 = \frac{V_1}{Lb}, \quad (2.57)$$

где L (м) – длина устья; b (м) – ширина устья.

Эффективный диаметр устья D_9 (м) определяется по формуле

$$D_9 = \frac{2Lb}{L+b}. \quad (2.58)$$

Эффективный расход выходящей в атмосферу в единицу времени газовой смеси V_{19} (м³/с) определяется по формуле

$$V_{19} = \frac{\pi D_9^2}{4} \omega_0. \quad (2.59)$$

Для источников с квадратным устьем ($L=b$) эффективный диаметр D_9 равняется длине стороны квадрата. В остальном расчет рассеивания вредных веществ производится как для выбросов из источника с круглым устьем.

2.2 Холодные выбросы ($\Delta T \approx 0$)

2.2.1 Для холодных выбросов при расчете c_m вместо формулы (2.1) используется формула:

$$c_m = \frac{AMFn\eta}{H^{4/3}} K, \quad (2.60)$$

где
$$K = \frac{D}{8V_1} = \frac{1}{7,1\sqrt{w_0V_1}}, \quad (2.61)$$

причем n определяется по формулам (2.8) – (2.10) при $v_m = v'_m$,

где
$$v'_m = 1,3 \frac{w_0 D}{H}; \quad (2.62)$$

Аналогично при $v_m < 0.5$ (случай предельно малых опасных скоростей ветра) расчет c_m вместо (2.1) производится по формуле 2.11, где $m' = 0.9$.

Формулы (2.11) и (2.40) являются частными случаями общей формулы 2.1

2.2.2 Расстояние x_m , (м) от источника выбросов при $\Delta T \approx 0$ находят по формуле 2.12,

где значение d находится по формулам

$$d = 5,7 \text{ при } v'_m \leq 0,5; \quad (2.63)$$

$$d = 11,4 v'_m \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2 \quad (2.64)$$

$$d = 16 \sqrt{v'_m} \text{ при } v'_m > 2. \quad (2.65)$$

2.2.3 Опасная скорость ветра u_m вычисляется по формулам

$$u_m = 0,5 \text{ при } v'_m \leq 0,5; \quad (2.66)$$

$$u_m = v'_m \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2; \quad (2.67)$$

$$u_m = 2,2 v'_m \text{ при } v'_m > 2. \quad (2.68)$$

Остальные расчеты, кроме п.2.19 производятся аналогично расчетам для горячих выбросов.

Для расчета распределения концентраций c_z ($\text{мг}/\text{м}^3$) на разных высотах z (м) над подстилающей поверхностью при $x < x_{mi}$ (2.19) коэффициент d_2 рассчитывают по формуле

$$d_2 = 0,028 v'_m / u + 0,034 (v'_m / u)^3 \quad (2.69)$$

при $v'_m < 0,5$ принимается $v'_m = 0,5$.

2.3. Решение обратных задач

Определение мощности выброса M и высоты H , соответствующих заданному уровню максимальной приземной концентрации c_m при прочих фиксированных параметрах выброса.

2.3.1 Мощность выброса M (г/с), соответствующих заданному значению максимальной концентрации c_m (мг/м³), определяется по формуле

$$M = \frac{c_m H^2}{AFm\eta} \sqrt{V_1 \Delta T}. \quad (2.70)$$

В случае $f \geq 100$ или $\Delta T \approx 0$ (холодные выбросы)

$$M = \frac{c_m H^{4/3}}{AFn\eta} \frac{8V_1}{D}. \quad (2.71)$$

2.3.2 Высота источника H , соответствующая заданному значению c_m , в случае $\Delta T \approx 0$ определяется по формуле

$$H = \left(\frac{AMFD\eta}{8V_1 c_m} \right)^{3/4}. \quad (2.72)$$

Если вычисленному по формуле (2.72) значению H соответствует $v'_m < 2$ м/с, то H уточняется методом последовательных приближений по формуле

$$H_{i+1} = H_i \left(\frac{n_i}{n_{i-1}} \right)^{3/4}. \quad (2.73)$$

где n_i и n_{i-1} - значения определенного по формулам (2.8) коэффициента n , полученные соответственно по значениям H_i и H_{i-1} (при $i = 1$ в формуле (2.73) принимается $n_0 = 1$, а значение H_i определяется по (2.72)).

2.3.4 Формулы (2.72), (2.73) используются также для определения H при $\Delta T > 0$. Если при этом выполняется условие $H \leq \omega_0 \sqrt{\frac{10D}{\Delta T}}$, то найденное H является точным. Если же $H > \omega_0 \sqrt{\frac{10D}{\Delta T}}$, то для определения предварительного значения высоты H используется формула

$$H = \sqrt{\frac{AMF\eta}{c_m \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}}. \quad (2.74)$$

По найденному значению H определяются на основании формул (2.3)-(2.6) величины f , v_m и устанавливается в первом приближении произведение коэффициентов m и n . Дальнейшие уточнения значения H выполняются по формуле

$$H_{i+1} = H_i \sqrt{\frac{m_i n_i}{m_{i-1} n_{i-1}}}, \quad (2.75)$$

где m_i, n_i соответствуют H_i , а m_{i-1}, n_{i-1} – H_{i-1} (при $i=1$ принимается $m_0 = n_0 = 1$, а H_0 определяется по (2.74)).

Уточнение значения H по формулам (2.73) и (2.75) производится до тех пор, пока два последовательно найденных значения H (H_i и H_{i+1}) будут различаться не менее чем на 1 м.

При одновременной необходимости учета влияния рельефа местности и застройки в формулах (2.70)-(2.72) и (2.74) за величину η принимается произведение поправок к максимальной концентрации на рельеф и застройку, определенных в соответствии с методикой, приведенной в [2].

2.4 Выбросы в атмосферу, обусловленные сжиганием топлива

2.4.1 При фиксированных высоте и диаметре устья трубы соответствующий максимальной концентрации c_m расход топлива P определяется по формуле, т/ч

$$P = 3,6H^3 \sqrt{\left(\frac{c_m}{d_3 A F m n \eta}\right)^3} d_4 \Delta T, \quad (2.76)$$

где d_3 – количество выбрасываемого в атмосферу вредного вещества на единицу массы топлива (в необходимых случаях с учётом пылегазоочистки), г/кг;

d_4 – расход газовоздушной смеси, выделяющейся на единицу массы топлива, м³/кг.

2.4.2 Для каждого источника радиус зоны влияния рассчитывается как наибольшее из двух расстояний от источника 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 при ручных расчетах находится графически с помощью рисунка 2.1 а, б, в. На вертикальной оси откладывается точка $0,05$ ПДК/ c_m , через которую проводится параллельная горизонтальной оси линия до пересечения с графиком функции s_1 за максимумом. Из точки пересечения опускается перпендикуляр на горизонтальную ось, полученное значение

x/x_m умножается на x_m , в результате чего определяется искомое значение. При $c_m \leq 0,05$ ПДК значение x_2 полагается равным нулю.

2.4.3 При полной нагрузке оборудования средняя концентрация \tilde{c}_m в устье источника, г/м³, равная

$$\tilde{c}_m = \frac{M}{V_1}, \quad (2.77)$$

определяется по формулам

$$\tilde{c}_m = \frac{c_m H^2}{AFmn\eta} \sqrt[3]{\frac{\Delta T}{V_1^2}}, \text{ при } f < 100, \quad (2.78)$$

$$\tilde{c}_m = \frac{8c_m H^{4/3}}{AFnD\eta} \text{ при } f \geq 100 \text{ или } \Delta T \approx 0, \quad (2.79)$$

где c_m – соответствующая максимальная приземная концентрация, \tilde{c}_m , мг/м³.

2.5 Суммарные выбросы от нескольких источников

Значение максимальной суммарной концентрации c_m (мг/м³) 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

$$c_m = \frac{AMFmn\eta}{H^2} \sqrt[3]{\frac{N}{V\Delta T}}, \quad (2.80)$$

где M – суммарная мощность выброса всеми источниками в атмосферу, г/с;
 V – суммарный расход выбрасываемой всеми источниками газовой смеси, определяемой по формуле

$$V = V_1 N \quad (2.81)$$

Значение параметра v_m определяется по формуле

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{NH}} \quad (2.82)$$

В остальном схема расчета концентраций веществ, обусловленных выбросами от группы близко расположенных друг к другу одинаковых

источников выброса, не отличается от приведенной в разделе 2 настоящего ОНД схемы расчета для одиночного источника.

2.6 Выбросы от близко расположенных одинаковых источников

Расчет концентраций веществ, обусловленных выбросами из близко расположенных друг к другу одинаковых источников, когда $\Delta T \approx 0$ или значение параметра $f \geq 100$, производится с использованием формул раздела 2 (2.1- 2.11) для одиночного источника со следующими изменениями

$$V_1 = V/N;$$

M – суммарная мощность выброса из всех источников;

формула (2.61) преобразуется к виду

$$K = \frac{ND}{8V_1} = \frac{1}{7,1} \sqrt{\frac{N}{\omega_0 V_1}} \quad (2.83)$$

2.7 Выбросы источников, имеющих различные параметры

Для источников выбросов, имеющих различные параметры, расчет приземных концентраций начинается с определения для всех источников по каждому веществу максимальных приземных концентраций C_m ($C_{m1}, C_{m2}, \dots, C_{mN}$) и опасных скоростей ветра u_m ($u_{m1}, u_{m2}, \dots, u_{mN}$). Если по какому-либо веществу сумма максимальных приземных концентраций от всех источников окажется меньшей или равной ПДК

$$(C_{m1} + C_{m2} + \dots + C_{mN}) \leq \text{ПДК}, \quad (2.84)$$

то (при отсутствии необходимости учета суммарного действия нескольких вредных веществ и фонового загрязнения атмосферы) расчеты приземной концентрации этого вещества производятся по требованию органов Госкомгидрометра и Минздрава. Такие расчеты выполняются также при оценке фактического уровня загрязнения воздуха.

При расчетах определяется средневзвешенная опасная скорость ветра u_{mc} (м/с) для группы N источников по формуле

$$u_{mc} = \frac{u_{m1}C_{m1} + u_{m2}C_{m2} + \dots + u_{mN}C_{mN}}{C_{m1} + C_{m2} + \dots + C_{mN}} \quad (2.85)$$

Отдельно для всех веществ, к которым относятся вычисленные u_{mc} (м/с) (для разных веществ они иногда существенно различаются),

определяются значения $c_{ми} \Big|_{u=имс}$ и $x_{ми} \Big|_{u=имс}$. Если по рассматриваемому веществу сумма $c_{ми} \Big|_{u=имс}$ меньше или равняется ПДК, то дальнейшие расчеты производятся главным образом при оценке фактического уровня загрязнения воздуха.

Если сумма $c_{ми} \Big|_{u=имс}$ больше ПДК, то для направлений ветра, соответствующих переносу вредных веществ от источников на расчетную область, при скоростях ветра: $u_{мс}$; $0,5 u_{мс}$; $1,5 u_{мс}$; $0,5 м/с$ – производится расчет суммарных концентраций от всех источников в узлах расчетной сетки, после чего наибольшая из них принимается за максимальную концентрацию c_m .

Одним из способов сокращения объема вычислительных работ является представление совокупности большого числа однотипных источников выброса (труб печного отопления, резервуарных полей и пр.), а также рассредоточенных по обширной территории источников неорганизованного выброса источников в виде площадных источников.

Группы точечных источников объединяются в площадной источник при достаточно равномерном распределении источников по площади и при условии близости параметров выброса, как высота (H) и диаметр устья (D) источников, температура (T_i) и скорость выхода (w_0) газовой смеси из устья источников. При большом разбросе указанных параметров группа источников представляется площадными источниками с более близкими значениями этих параметров.

При расчетах для произвольного направления ветра площадной источник представляется в виде совокупности N равномерно рассредоточенных одиночных источников. Значение N определяется по формуле:

$$N = \frac{25 S_n u}{L_n^2} . \quad (2.86)$$

где S_n – площадь рассматриваемого источника, $м^2$;

L_n – расстояние от центра площадного источника до расчетной точки, $м$;
 u – расчетная скорость ветра.

Значение N вычисляется с округлением до ближайшего целого числа.

Из формулы 2.87 следует, что для расчетных точек, расположенных на расстоянии $L_n \geq 5\sqrt{S_n u}$ площадной источник может рассматриваться как одиночный точечный источник ($N=1$).

Для каждого из этих одиночных точечных источников значения максимальной приземной концентрации c_m расстояния x_m , на котором

достигается эта максимальная концентрация, и опасной скорости ветра u_m , определяются по формулам

$$c_m = \frac{c_m''}{N}; \quad (2.87)$$

$$x_m = x_m''; \quad (2.88)$$

$$u_m = u_m'', \quad (2.89)$$

где c_m'' , x_m'' , u_m'' – это значения c_m , x_m и u_m для одиночного точечного источника, совокупность которых образует площадной источник; при расчете c_m . В качестве M используется суммарный выброс от всех источников.

Если расчеты приземных концентраций относятся к участку местности, на котором расположен площадной источник, то целесообразно, чтобы условные источники находились в центре ячеек расчетной сетки точек.

Формулы для площадного источника указанного типа применяются при выбросах от резервуарных парков предприятий, совокупностей мелких бытовых котельных и печных труб в городах, а также групп низких вентиляционных источников (при расчетах загрязнений атмосферы для участков, расположенных за пределами промплощадки). Использование формул для площадного источника существенно упрощает подготовку числового материала при расчетах загрязнения атмосферы на ЭВМ. Информация о вкладах площадочных источников в суммарное загрязнение атмосферы более показательна. Чем аналогичная информация по отдельным мелким источникам.

Если расчеты относятся к участку местности, на котором расположен площадочной источник, то он представляется в виде суммы нескольких меньших по размеру площадочных источников, либо в виде совокупности точечных источников, расположенных в узлах квадратной сетки, шаг которой не превосходит $2x_m$.

3 РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ЛИНЕЙНОГО ИСТОЧНИКА

3.1 При расчете рассеивания выбросов от линейного источника длиной L (рисунок 3.1) 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 как линейного источника значения c_m ($\text{мг}/\text{м}^3$) и расстояния x_m (м) определяются по формулам:

$$c_M = S_3 c'_M; \quad (3.1)$$

$$x_M = \frac{L}{2} + S_4 x'_M. \quad (3.2)$$

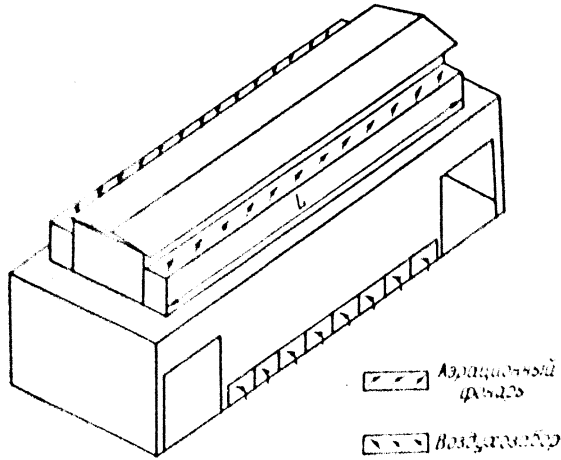


Рисунок 3.1 – Аэрационный фонарь

Здесь значения c'_M и x'_M , а также соответствующее им значение u'_M принимаются равными максимальной концентрации c_M , расстоянию x_M и опасной скорости u_M для одиночного источника той же мощности M с круглым устьем диаметром D_9 и расходом выбрасываемой газовой смеси V_{19} . При этом эффективный диаметр устья фонаря D_9 (м) определяется по формуле

$$D_9 = \frac{2LV_1}{L^2\omega_0 + V_1}, \quad (3.3)$$

где V_1 – расход выбрасываемой из фонаря в единицу времени газовой смеси, м³/с,

ω_0 – средняя скорость выхода из фонаря газовой смеси, м/с,

Величина V_{19} определяется по найденному значению D_9 и формуле (2.40).

За высоту источника выброса H (м) принимается высота над уровнем земли верхней кромки ветроотбойных щитов фонаря или верхней кромки

фонаря при отсутствии ветроотбойных щитов. Средняя скорость выхода в атмосферу газозадушной смеси из аэрационного фонаря ω_0 (м/с) определяется экспериментальным путем или по расчёту аэрации. Масса выбрасываемого в атмосферу в единицу времени вредного вещества M (г/с) принимается равной суммарному выбросу из всего фонаря. Величина ΔT (°С) принимается такой же, как для одиночного источника выброса.

Безразмерные коэффициенты S_3 и S_4 в (3.1) и (3.2) определяются в зависимости от отношения L/x'_M по формулам

$$s_3 = \frac{1 + 0,45 L/x'_M}{1 + 0,45 L/x'_M + 0,1(L/x'_M)^2}; \quad (3.4)$$

$$s_4 = \frac{1}{1 + 0,6 L/x'_M}. \quad (3.5)$$

Опасная скорость ветра u_M определяется по формуле

$$u_M = u'_M. \quad (3.6)$$

3.3 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

$$c_M = \frac{c'_M}{N}, \quad (3.7)$$

$$x_M = x'_M, \quad u_M = u'_M. \quad (3.8)$$

Расчеты концентраций по формулам данного раздела производятся для расстояний от производственного корпуса, больших x'_M . Для расстояний, меньших x'_M , необходимо учитывать влияние здания, на котором расположен фонарь.

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

$$N = \frac{5L\sqrt{u}}{x}, \quad (3.9)$$

где x – наименьшее расстояние от аэрационного фонаря до расчетной точки на местности, м,

u – расчетная скорость ветра.

С увеличением протяженности L аэрационного фонаря N увеличивается, но, как правило, достаточно принимать N не более 10.

При расчетах загрязнения атмосферы для скорости ветра u , не равной u_m , для каждого из одиночных источников значение максимальной концентрации вредных веществ $c_{ми}$ определяется по формуле, мг/м³

$$c_{ми} = \frac{rc'_m}{N}, \quad (3.10)$$

а соответствующее расстояние $x_{ми}$ (м) по формуле

$$x_{ми} = px'_m. \quad (3.11)$$

где r и p – безразмерные коэффициенты, определяемые в соответствии с п. 2.10 и 2.11 по значению отношения u/u_m .

3.5 Расчеты приземных концентраций от линейного источника, аппроксимирующего совокупность одиночных источников выброса с близкими значениями высот, выполняются по тем же формулам, что для аэрационного фонаря, но при расчёте вспомогательных величин c'_m , x'_m и u'_m вместо D_0 и V_1 , используются средние значения D и V_1 , характерные для одиночных источников.

3.6 При ветре, перпендикулярном линейному источнику, или при произвольном направлении ветра вычисления основываются на замене линейного источника совокупностью одинаковых равноудаленных условных точечных источников.

При ветре вдоль линейного источника значения максимальной концентрации c_m , расстояния x_m и опасной скорости ветра u_m определяются по формулам (3.1), (3.2) и (3.6), с использованием формул (3.4), (3.5).

Если расчетной точке соответствует определенное по формуле (3.9) значение $N > 10$, то линейный источник представляется в виде суммы нескольких меньших по размеру линейных источников таким образом, чтобы выделить участки линейного источника, для которых $N < 10$. Оставшиеся линейные источники делятся на равноудаленные точечные источники так, чтобы расстояние между ними не превышало $2x'_m$.

3.7 Мощность выброса M , соответствующая заданному значению максимальной концентрации c_m , для случая выбросов от одиночного аэрационного фонаря определяется по формуле

$$M = \frac{M_0}{s_3}, \quad (3.12)$$

где M_0 как соответствующая c_m мощность выброса из одиночного источника находится по формуле (2.41) или (2.42) при $V_1 = V_{1з}$ и $D = D_з$, определяемыми по (2.40), (3.3).

4 ПОСТРОЕНИЕ ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ С УЧЕТОМ РОЗЫ ВЕТРОВ

В настоящее время принята восьми румбовая роза ветров. В соответствии с ней размеры поля концентрации, на границах которого концентрация достигает максимального значения, определяются по формуле:

$$L_m = X_m \frac{P_i}{P_0}, \quad (4.1)$$

Размеры поля концентрации, на границах которого концентрация загрязняющих веществ достигнет допустимого значения, определяются по формуле:

$$L_{\text{уст}} = X_{\text{уст}} \frac{P_i}{P_0}, \quad (4.2)$$

где P_0 – среднегодовая повторяемость в направлении ветров, %;

$P_0 = 12,5\%$;

P_i – повторяемость ветра i -го румба, %.

Аналогично строится поле концентраций для любого заданного расстояния.

Общий вид поля концентрации представлен в Приложении В.

5 КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Нормативы предельно-допустимых выбросов (ПДВ) предприятий для объектов природопользования устанавливаются для каждого источника загрязнения атмосферы при условии, что выбросы вредных веществ от данного источника и совокупности источников города не

создадут приземную концентрацию загрязняющих веществ, превышающую предельно-допустимые значения в воздухе населенных мест. Для этих целей природопользователь осуществляет разработку проекта нормативов ПДВ (тома ПДВ), который утверждается местным территориальным органом охраны природы.

При разработке проектов нормативов ПДВ для проверки выполнения упомянутого требования, а при необходимости – для назначения природоохранных мероприятий используются расчеты загрязнения атмосферы выбросами источников предприятия. Эти расчеты проводятся по «Методике расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86)», разработанной Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова.

В настоящее время все расчеты загрязнения атмосферы проводятся только с использованием специальных программных средств – унифицированных программ расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА), которые являются приложением к ОНД-86.

Унифицированная программа расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА) – это программа, которая позволяет расчетным путем определить величины концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Приставка «унифицированная» показывает, что программа применима для любых источников выбросов загрязняющих веществ, независимо от того, к какой отрасли народного хозяйства они относятся.

Причины, по которым выполнение расчетов загрязнения атмосферы без использования УПРЗА невозможно, таковы:

- 1 Сложность расчетных схем, заложенных в методику ОНД-86.
- 2 Методика ОНД-86 не содержит формального описания алгоритма расчета загрязнения воздуха. Ряд разделов методики связан с использованием приближенных методов вычислений. Именно поэтому в России в настоящее время имеется несколько действующих программ расчета загрязнения атмосферы, которые реализуют расчетные формулы ОНД-86, но основаны на использовании различных алгоритмов.

Существует официальный список действующих УПРЗА, утвержденный Министерством природных ресурсов РБ на основании результатов тестирования представленных разработчиками программ. Допустимой погрешностью точности счета для УПРЗА является 3% относительно эталонных расчетов. Использование при установлении нормативов ПДВ и для решения других задач УПРЗА, не входящих в список действующих, недопустимо.

Именно задача расчета загрязнения атмосферы явилась в 70-х годах первым объектом для разработки программных средств в области

экологии. В первое десятилетие хорошо себя зарекомендовали программы «Эфир», «Гарант», «Воздух» и некоторые другие.

В настоящее время наиболее распространенной является УПРЗА «Эколог», применяются также программы «Эколог ПРО», «Призма», «Атмосфера», «ЛиДа».

Во всех УПРЗА учитываются также данные об источниках выбросов загрязняющих веществ. Источники выбросов подразделяются на организованные и неорганизованные. Организованные источники снабжены специальными воздуховодами, газоходами, трубами и т. п., через которые выброс поступает в атмосферу. Неорганизованный источник выбрасывает в атмосферу вещества в составе ненаправленных потоков газа.

Однако такого деления источников недостаточно для обеспечения требуемой точности счета. Поэтому в УПРЗА обычно вводятся 5-8 типов источников, что позволяет описать источник более точно. К примеру, УПРЗА «Эколог» предлагает расчетные схемы для 8 типов источников. Наиболее часто встречающимися типами организованных источников являются:

1 Одиночный точечный источник с круглым устьем.

2 Линейный источник (аэрационные фонари и аналогичные им источники).

3 Совокупность одиночных точечных источников. Группы точечных источников объединяются в площадной источник при достаточно равномерном распределении источников по площади и при условии близости некоторых параметров выброса.

4 Источники с горизонтальным направлением выброса или накрытые крышками-зонтами.

Неорганизованные источники, как правило, не разделяются на типы, однако в ряде УПРЗА введен подтип «Неорганизованный источник с мощностью выброса, зависящей от скорости ветра», использование которого при описании открытых складов сыпучих материалов позволяет в ряде случаев повысить точность расчета.

Для каждого источника должен быть задан определенный набор технических параметров.

Для некоторых типов источников не требуется знания всех их технических параметров. Так, неорганизованный источник характеризуется только высотой и мощностью выброса, поскольку остальные параметры такого источника определить чаще всего невозможно.

Результатами расчетов УПРЗА являются величины концентраций загрязняющих веществ в атмосфере. Как правило, при разработке проектов ПДВ рассматриваются концентрации вредных веществ только в

приземном слое, то есть осредненные по высоте 2 м. Для решения других задач может понадобиться определить значение концентраций загрязняющих веществ на различных высотах от уровня земли. Такие расчеты могут проводить не все УПРЗА.

Концентрации загрязняющих веществ определяются в расчетных точках с заданными координатами, расположенными на границе санитарно-защитной зоны предприятия, в зоне жилой застройки и т. п. Как правило, также производится расчет концентраций загрязняющих веществ на расчетных площадках с определенным шагом расчетной сетки.

Таким образом, такие программы с одной стороны являются слишком сложными для использования в учебном процессе, тем более для студентов не экологических специальностей; с другой стороны решают не все задачи, связанные с загрязнением атмосферы, поэтому для образовательных целей эффективней использовать адаптированную контрольно-обучающую программу. Основная цель представленной программы Amission, являющейся авторским продуктом, – приобретение и закрепление практических навыков для решения прикладных экологических задач. В частности, она позволяет оперативно определить зону загрязнения в приземном слое на различных расстояниях, распределение примесей на различной высоте от поверхности земли и при различных скоростях ветра, построить поле концентраций с учетом розы ветров, а также регулировать технологические параметры для оптимизации выбросов загрязняющих веществ. Программа позволяет рассчитывать горячие выбросы загрязняющих веществ из точечного источника.

Первый этап работы программы – тестовая часть. Она предназначена для проверки знаний студентов перед дальнейшим расчетом. Студенту по умолчанию предлагается стандартный набор из 20 вопросов. Правильно ответив на 76% из которых (16 из 20) пользователь получает право на доступ к расчетной части. Все вопросы содержатся в отдельном файле Test.tst. Количество вопросов теста может регулироваться преподавателем. К данной программе прилагается специальный файл TestEditor.exe. Запустив «Редактор тестов», преподаватель может с легкостью просматривать содержимое тестов; редактировать содержимое – добавлять, удалять, изменять вопросы; создавать новые тестовые файлы. Программа Amission.exe перед запуском предпринимает попытку открыть файл вопросов. Не найдя необходимого файла в текущей директории, приложение завершает свою работу и пользователь не получает доступ к программе. В конце теста пользователь получает информацию о количестве правильно отмеченных вопросов, сопровождающуюся выводом на экран соответствующей графической информации (картинки). При необходимости

пропустить тест, пользователь ввести пароль в командной строке при запуске программы. При прохождении теста имеется возможность в любой момент перейти к началу теста – Главное меню⇒Выход⇒В начало теста, к расчетной части или же выйти из программы.

Второй этап работы программы – расчетная часть. Она предназначена для вычисления и графического построения определенных зависимостей. Первоначально активны лишь следующие пункты меню:

- Ввод данных
- Справка
 - О программе
 - Помощь
- Выход
 - В начало теста
 - Из программы

Войдя в пункт “ Ввод данных ” пользователь увидит на экране свободные поля с названиями. Расчет производится одновременно для двух веществ, названия которых указаны справа от свободных полей. Если все свободные поля заполнены, кнопка “Далее”, позволяющая вести дальнейший расчет, становится активной. Кнопка “В меню” отменяет все введенное и передает управление главному меню.

После нажатия кнопки “Далее” активизируются следующие пункты главного меню:

- Произвести расчет
 - Основные параметры
- Печать
 - Исходные данные

Произведя расчет основных параметров, таких как:

- максимальная концентрация обоих веществ C_m ;
- расстояние, на котором достигается $C_m - X_m$;
- коэффициенты m, n, f ;
- максимальная скорость ветра;
- процент очистки обоих веществ;

пользователь получает возможность рассчитывать таблицы.

Таблица 1 – зависимость концентрации загрязняющих веществ от расстояния до источника;

Таблица 2 – зависимость концентрации загрязняющих веществ от высоты от поверхности земли на расстоянии X_m от источника;

Таблица 3 – зависимость концентрации загрязняющих веществ при скоростях ветра, отличных от опасной.

При расчете первых двух таблиц имеется возможность изменять расстояние до источника (по вертикали или по горизонтали) и таким

образом оптимизировать расчет. Предел изменения – расстояние, на котором относительная концентрация становится меньше единицы. Это реализовано с помощью ползунков справа и слева от таблиц. Изменяя положение ползунков, необходимо производить пересчет. Существует 2 режима:

- ручной пересчет (по умолчанию)
- автоматический пересчет

При ручном пересчете необходимо нажимать кнопку “Пересчитать” на панели, где произошли изменения.

Выполнив расчет всех таблиц, появляется возможность вывести на экран графические зависимости с названиями, соответствующими названиям таблиц. Построение поля концентраций с учетом розы ветров позволяет наглядно определить распространение загрязняющих веществ в различных направлениях от источника в зависимости от времени года (Зима и Лето). На той же форме имеется таблица, в которой приведены расстояния, на которых достигается максимальная концентрация и граница зоны, где уровень загрязнения в пределах норматива. Две изолинии изображены на графике различными цветами.

Режим “Печать” предусмотрен для вывода на принтер результатов расчета таблиц и графиков. При печати поля концентраций выводится также форма с 2 дополнительными кнопками “Печать графика” и “Печать таблицы”. После нажатия кнопок программа выводит контрольный запрос о выводе на принтер.

В пункте главного меню “Справка” имеется 2 пункта “О программе” и “Помощь”. Запустив “О программе” пользователь получает информацию о разработчике, версии продукта, авторских правах. С помощью пункта “Помощь” можно получить сведения о назначении большинства кнопок, пунктов меню и в целом о программе.

Выход из программы осуществляется нажатием подпункта “Из программы” в пункте главного меню “Выход”.

Окна с изображением всех описанных операций представлены в приложении В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технический прогресс породил новые проблемы и новую ответственность человечества перед будущими поколениями за состояние природной Среды и обеспечение необходимых жизненных условий. В последнее десятилетие пришло реальное осознание остроты противоречия между ограниченными возможностями биосферы усваивать без заметного ущерба отходы промышленности и ростом общественных потребностей. Изменения исторически сложившихся экологических систем приобретает характер, при котором все более вероятными становятся опасные для человека и зачастую необратимые нарушения естественных природных связей. Уже сейчас в атмосферу ежегодно поступает около 200 млн. т окиси углерода, 150 млн. т двуокиси серы, 50 млн. т углеводов, примерно столько же окиси азота, много других загрязнителей. И хотя масса выбрасываемых веществ составляет незначительную часть от массы атмосферы, их локализация в промышленных районах, не превышающих 5% земной поверхности, и в самых нижних слоях атмосферы приводит к недопустимо высоким концентрациям антропогенных загрязнителей.

Таким образом, на современном этапе развития человеческого сообщества сформировались объективные условия, требующие нового подхода к хозяйственно-экономической деятельности. В рамках этого подхода предметом особой заботы становится сохранение восстановительного потенциала биосферы, а затраты на соответствующие мероприятия рассматриваются как необходимая часть государственного бюджета. Практическая реализация этого подхода предполагает наличие методологии, позволяющей оценить воздействие планируемых - и в особенности крупномасштабных - мероприятий на текущее и перспективное состояние биосферы и выбрать среди множества вариантов оптимальную в смысле некоторых эколого-экономических критериев стратегию.

Создание такой методологии - задача многоаспектная, комплексная и в высшей степени сложная. Она требует глубокого системного анализа, интеграции исследований в различных областях науки, таких, как методы математического моделирования и экология, физика атмосферных и океанических процессов, иммунология и медицина, химия многофазных систем, география, экономика, космические исследования, безотходные технологии, юриспруденция.

Направленность данной методологии на прогноз и количественную оценку последствий планируемых мероприятий наряду с невозможностью проведения натуральных экспериментов в реальном масштабе времени определяет форму ее реализации. Прогноз последствий и выбор стратегий должны осуществляться на основе

математических моделей с использованием современных средств вычислительной техники, последующей проверки выводов лабораторных и приближенных к реальным условиям ситуаций.

Общая структура модели для построения оптимальных стратегии хозяйственной деятельности с учетом наиболее актуальной в текущий период проблемы влияния антропогенных загрязнений на природную среду определяется следующими основными блоками:

- распространение и трансформация загрязняющих примесей от источников до компонент экосистемы;
- взаимодействие загрязнителей и природных систем (включая человека);
- динамика природных систем с учетом угнетающего воздействия загрязнителей;
- построение основных оптимизируемых функционалов;
- решение оптимизационных задач по определению управляющих параметров модели и разработка плана хозяйственных мероприятий на основе решения оптимизационных задач;
- информационное обеспечение модели.

Некоторые из задач, возникающих при реализации блоков, к настоящему времени проработаны достаточно глубоко. Так, создана целая система (зачастую повторяющих друг друга) моделей для описания процессов переноса и диффузии примеси в атмосфере. Разработаны эффективные методы решения кинетических уравнений. Существуют подходы для описания различного типа экологических систем. Однако основная проблема - разработка оптимального «экологизированного» плана конкретных народнохозяйственных мероприятий - может быть решена только при создании единой взаимоувязанной супермодели, реализующей все упомянутые блоки в полном объеме.

Практическое использование такой супермодели должно основываться на учете и контроле выбросов и переноса загрязнителей.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Таблица А.1 – Краткий перечень и коды веществ

Код	Наименование вещества	Класс опасности	ПДК _{сс}	ПДК _{зр}	ОБУВ
			мг/м ³		
101	Алюминия оксид	2	0,0100		
106	Бария оксид	0			0,004
107	Бария хлорид	0			0,004
110	Ванадия пятиокись	1	0,0020		
111	Висмута оксид	3	0,0500		
113	Ангидрид вольфрамовый	3	0,1500		
118	Титана диоксид	0			0,5
123	Железа оксид	3	0,0400		
128	Кальция оксид	0			0,3
129	Кальция карбид	0			0,3
133	Кадмия оксид	1	0,0003		
134	Кобальт металлический	1	0,0010		
138	Магния оксид	3	0,0500	0,4	
143	Марганец и его соединения	2	0,0010	0,01	
146	Меди окись (в пересчете на медь)	2	0,0020		
150	Щелочь едкая	0			0,01
152	Натрия хлорид (поваренная соль)	0			0,15
155	Натрия карбонат	0			0,04
158	Натрия сульфат	3	0,1000	0,3	
163	Никель металлический	2	0,0010		
164	Никеля оксид	2	0,0010		
165	Никеля растворимые соли	1	0,0002	0,002	
169	Олова диоксид	3	0,0200		
178	Ртути окись красная	1	0,0003		
183	Ртуть металлическая	1	0,0003		
184	Свинец и его соединения	1	0,0003	0,001	
190	Сурьмы трехокись	3	0,0200		
192	Тетраэтилсвинец	0			3 10-6
203	Хром шестивалентный	1	0,0015	0,0015	
207	Цинка оксид	3	0,0500		
214	Кальция гидроксид	0			0,2
228	Хрома трехвалентные соединения	0			0,01
243	Железа ферроцианид				0,04

260	Кобальта оксид	2	0,0010		
266	Молибден и его соединения	3	0,0200		
290	Сурьма	0			0,01
301	Азота диоксид	2	0,1000	0,25	

Продолжение таблицы А.1

Код	Наименование вещества	Класс опасности	ПДК		
			ПДК _{сс}	ПДК _{мр}	ОБУВ
мг/м ³					
302	Азотная кислота	2	0,1500	0,4	
303	Аммиак	4	0,0400	0,2	
304	Азота оксид	3	0,0600	0,4	
307	Бром	2	0,0400		
308	Кислота борная	3	0,1000		
312	Водорода перекись	0			0,02
316	Водород хлористый	2	0,2000	0,2	
317	Водород цианистый	2	0,0100		
321	Йод	2	0,0300		
322	Кислота серная	2	0,1000	0,3	
323	Кремния диоксид	0			0,02
326	Озон	1	0,0300	0,16	
328	Сажа	3	0,0500	0,15	
330	Серы диоксид	3	0,0500	0,5	
333	Сероводород	2		0,008	
337	Углерода оксид	4	3,0000	5	
338	Ангидрид фосфорный	2	0,0500	0,15	
342	Фториды газообразные	2	0,0050	0,02	
343	Фториды хорошо растворимые	2	0,0100	0,03	
344	Фториды плохо растворимые	2	0,0300	0,2	
347	Фосген	0			0,003
348	Кислота о-фосфорная	0			0,02
349	Хлор	2	0,0300	0,1	
401	Углеводороды предельные C1 - C10	4			25
402	Бутан	4	200,0		
403	Гексан	4	60,0		
406	Полиэтилен	0			0,1
407	Пропилена тримеры	0			0,05
408	Циклогексан	4	1,4000	1,4	
410	Метан	0			50
501	Углеводороды непредельные C2-C5	4	1,5000	1,5	
502	Бутилен	4	3,0000	3	
503	1,3-Бутадиен (дивинил)	4	1,0000	3	
507	Гексен	3	0,0850	0,4	
508	Гептен	3	0,0650	0,035	
514	2-Метилпропен (изобутилен)	0			0,1
521	Пропилен	3	3,0000	3	

526	Этилен	3	3,0000	3	
528	Ацетилен	0			1,5
530	Изопрена олигомеры (димеры)	3		0,003	
602	Бензол	2	0,1000	1,5	

Продолжение таблицы А.1

Код	Наименование вещества	Класс опасности	ПДК		
			ПДК _{сс}	ПДК _{мр}	ОБУВ
мг/м ³					
605	Дивинилбензол	0			0,01
612	Изопропилбензол (кумол)	4	0,0140	0,014	
614	Изобутилбензол	0			0,2
616	Ксилол	3	0,2000	0,2	
617	Мебельный растворитель АМР-3	3	0,0900	0,09	
620	Стирол	2	0,0200	0,04	
621	Толуол	3	0,6000	0,6	
626	1,2,4 -Триметилбензол	2	0,0150	0,04	
627	Этилбензол	3	0,0200	0,02	
629	о-Этилтолуол	0			0,03
632	Метоксибензол (анизол)	0			0,1
633	Поликарбонат	0			0,2
634	Этилстирол	0			0,05
703	Бензпирен	1	0,000001		
708	Нафталин	4	0,0030	0,003	
711	Антрацен	0			0,01
714	Аценафтен	0			0,07
856	Дихлорэтан	2	1,0000	3	
857	Дифтордихлорметан (фреон- 12)	4	10,0000	100	
858	Фтордихлорметан (фреон-21)	4	10,0000	100	
859	Дифторхлорметан (фреон-22)	4	10,0000	100	
871	Метил хлористый (хлорметан)	0			0,06
882	Тетрахлорэтилен (перхлорэтилен)	2	0,0600	0,5	
892	Перфторбутены (смесь изомеров)	0			0,1
893	Хладон 114В2	0			5
894	Фреон-113	0			8
897	Трихлорбензол	0			0,008
898	Трихлорметан (хлороформ)	2	0,0300	0,1	
901	Фтортрихлорметан (фреон- 11)	4	10,0000	100	
902	Трихлорэтилен	3	1,0000	4	
915	Хлорбензол	3	0,1000	0,1	
931	Эпихлоргидрин	2.	0,2000	0,2	
935	Фреон- 132В	0			5
938	Фреон- 134 А	0			2,5
1023	Диэтиленгликоль	4	0,2000		
1026	м-Крезол	0			0,02
1027	о-Крезол	0			0,028

1034	Пропандиол-1,2 (пропиленгликоль)	0			0,03
1037	Смесь изомеров спиртов C7-C11	0			0,1
1041	Спирт бензиловый	4		0,16	
1042	Спирт бутиловый	3	0,1000	0,1	

Продолжение таблицы А.1

Код	Наименование вещества	Класс опасности	ПДК _{сс} ПДК _{мр} ОБУВ		
			мг/м ³		
1046	Спирт диацетоновый	0			0,3
1048	Спирт изобутиловый	4	0,1000	0,1	
1052	Спирт метиловый	3	0,5000	1	
1061	Спирт этиловый	4	5,0000	5	
1062	Тетраэтоксисилан (этилсиликат)	0			0,5
1071	Фенол	2	0,0030	0,01	
1077	Циклогексанол	3	0,0600	0,06	
1078	Этиленгликоль (этандиол)	0			1
1105	Диэтиловый эфир	4	0,6000	1	
1110	Бутилцеллозольв	3	0,3000	1	
1114	Диметиловый эфир	0			0,2
1119	Этилцеллозольв	0			0,7
1124	Дибутиловый эфир	0			0,1
1125	Димедрол	0			0,0005
1129	Триэтиленгликоль	0			1
1206	Бутилакрилат	2		0,0075	
1210	Бутилацетат	4	0,1000	0,1	
1213	Винилацетат	3	0,1500	0,15	
1240	Этилацетат	4	0,1000	0,1	
1241	Этилакрилат	3		0,03	
1301	Акролеин	2	0,0300	0,03	
1317	Ацетальдегид	3	0,0100	0,01	
1322	Ванилин	0			0,03
1401	Ацетон	4	0,3500	0,35	
1405	Древесноспиртовой растворитель А	4	0,1200	0,12	
1406	Древесноспиртовой растворитель Э	4	0,0760	0,07	
1407	Диэтилкетон	3	0,3000	0,5	
1408	Метилизобутилкетон	4		0,1	
1409	Метилэтилкетон	0			0,1
1411	Циклогексанон	3		0,04	
1507	Ангидридгуксусный	3	0,0300	0,1	
1508	Ангидридфгалевый	2	0,1000	0,1	
1512	Кислота акриловая	3	0,0400	0,1	
1513	Кислота аскорбиновая	0			0,5
1533	Лизин	0			0,7
1535	Кислота метакриловая	3	0,0100	0,03	
1537	Кислота муравьиная	2	0,0500	0,2	

1546	Кислота пропионовая	3		0,015	
1555	Кислота уксусная	3	0,0600	0,2	
1580	Кислота лимонная	0			0,3
1591	Кислота щавелевая	0			0,015

Продолжение таблицы А.1

Код	Наименование вещества	Класс опасности	ПДК		
			ПДК _{сс}	ПДК _{мп}	ОБУВ
мг/м ³					
1608	Пропилена окись	1		0,08	
1611	Этилена окись	3	0,0300	0,3	
1803	Амины алифатические C15-C20	2	0,0030	0,003	
1805	Анилин	2	0,0300	0,05	
1887	Амины алифатические C10-C16	0			0,005
2110	Карбофос	2		0,015	
2111	Метафос	1		0,008	
2112	Хлорофос	2	0,0200	0,04	
2413	2-Метилпиридин (альфа-пиколин)	0			0,2
2418	Пиридин	2	0,0800	0,08	
2463	Папаверина гидрохлорид	0			0,01
2602	Белок пыли БВК	2	0,0010		
2701	Аммофос	4	0,2000	2	
2704	Бензин нефтяной	4	1,5000	5	
2726	Канифоль талловая	0			0,5
2731	Краска порошковая эпоксидная	0			0,01
2732	Керосин	4			1,2
2735	Масло минеральное нефтяное	3			0,05
2741	Гептановая фракция нефрас ЧС 94/99	0			1,5
2742	СМС типа "Кристалл"	2	0,0100	0,04	
2744	СМС типа "Лотос"	0			0,03
2745	СМС типа "Ока"	0			0,03
2746	СМС типа "Эра"	0			0,03
2748	Скипидар	4	1,0000	2	
2750	Сольвент-нафта	0			0,2
2752	Уайт-спирит	4			1
2754	Углеводороды предельные C12-C19	4		1	
2781	Стеарин	0			0,2
2795	Лак УР-231 (по ксилолу)	0			0,2
2806	СМС "Бриз", "Вихрь", "Юка"	0			0,03
2807	СМС "Био-С"	0			0,01
2868	Эмульсол	0			0,05
2902	Взвешенные вещества	3	0,1500	0,5	0,1
2903	Зола сланцевая	3	0,1000	0,3	
2904	Мазутная зола	2	0,0020		
2907	Пыль неорганическая, содержащая SiO ₂ >70	3	0,0500	0,15	

	% (динас)				
2908	То же SiO ₂ 70-20 % (цемент и др.)	3	0,1000	0,3	
2909	- " - SiO ₂ до 20 % (доломит)	3	0,1500	0,5	

Продолжение таблицы А.1

Код	Наименование вещества	Класс опасности	ПДК		
			ПДК _{сс}	ПДК _{мр}	ОБУВ
			мг/м ³		
2911	Пыль комбикормовая	0			0,01
2912	Пыль костной муки	0			0,01
2913	Пыль мясокостной муки	0			0,01
2915	Пыль стекловолкна	0			0,06
2916	Пыль стеклопластика	0			0,06
2917	Пыль хлопковая	3	0,0500	0,2	
2918	Пыль цементного производства	3	0,0200		
2919	Пыль капрона	0			0,05
2920	Пыль меховая (шерстяная, пуховая)	0			0,03
2921	Пыль поливинилхлорида	0			0,1
2922	Пыль полипропилена	0			0,1
2926	Угольная зола электростанций	2	0,0200	0,05	
2928	Каучук СКТН (пыль)	0			0,5
2930	Пыль абразивная	0			0,04
2931	Пыль асбестосодержащая	1	0,0600		
2933	Пыль алюмосиликатов	0			0,02
2934	Пыль аминопластов	0			0,04
2935	Пыль винилпласта-90	0			0,01
2936	Пыль древесная	3			0,4
2937	Пыль зерновая	3	0,0300	0,2	
2938	Пыль желатина	0			0,15
2941	Пыль полиэтилена	0			0,1
2944	Пыль пемоксоли	0			0,03
2945	Пыль пемолукса	0			0,02
2952	Пыль текстолита	0			0,04
2962	Пыль бумаги	0			0,1
2966	Пыль крахмала	0			0,1
2968	Пыль мыльного порошка	0			0,1
2969	Пыль полиамида ПА-610	0			0,05
2973	Пыль сахара, сахарной пудры	0			0,1
2976	Пыль слюды ТУ-43-4-171-75	0			0,04
2977	Пыль талька	0			0,5
2978	Пыль отходов подошвенных резин	0			0,1
2980	Пыль фенолформальдегидной смолы	0			0,05
2987	Пыль латуни	0			0,003
2988	Пыль n-парафинов, церезинов	0			0,6

2989	Пыль полиамида	0		0,5
2990	Пыль полистирола	0		0,35
3069	Гетинакс	0		0,1

Таблица А.2 – Группы веществ с эффектом суммирования вредного воздействия

Код	Вещества, входящие в группу
Полное суммирование	
6001	Акриловая и метакриловая кислоты
6002	Акриловая и метакриловая кислоты, бутилакрилат, бутилметакрилат, метилакрилат, метилметакрилат
6003	Аммиак, сероводород
6004	Аммиак, сероводород, формальдегид
6005	Аммиак, формальдегид
6006	Азота диоксид и оксид, мазутная зола, серы диоксид
6007	Азота диоксид, гексан, углерода оксид, формальдегид
6008	Азота диоксид, гексен, серы диоксид, углерода оксид
6009	Азота диоксид, серы диоксид
6010	Азота диоксид, серы диоксид, углерода оксид, фенол
6011	Ацетон, акролеин, фталевый ангидрид
6012	Ацетон, трикрезол, фенол
6013	Ацетон и фенол
6014	Ацетон и ацетофенон
6015	Ацетон, фурфурол, формальдегид и фенол
6016	Ацетальдегид и винилацетат
6017	Аэрозоли пятиокси ванадия и окислов марганца
6018	Аэрозоли пятиокси ванадия и сернистый ангидрид
6019	Аэрозоли пятиокси ванадия и трехокси хрома
6020	Бензол и ацетофенон
6021	Валериановая, капроновая и масляная кислоты
6022	Вольфрамовый и сернистый ангидриды
6023	Гексахлоран и фозалон
6024	2,3-Дихлор-1,4-нафтахинон и 1,4-нафтахинон
6025	1,2-Дихлорпропан, 1,2,3-трихлорпропан и тетрахлорэтилен
6026	Изопропилбензол и гидроперекись изопропилбензола
6027	Изобутилкарбинол и диметилвинилкарбинол
6028	Метилгидропиран и метилентетрагидропиран
6029	Моно-, ди- и трипропиламин
6030	Мышьяковистый ангидрид и свинца ацетат
6031	Мышьяковистый ангидрид и германий
6032	Озон, двуокись азота и формальдегид
6033	Пропионовая кислота и пропионовый альдегид
6034	Свинца оксид, серы диоксид

6035	Сероводород, формальдегид
6036	Сернокислые медь, кобальт, никель и серы диоксид
6037	Серы диоксид, окись углерода, фенол и пыль конвертерного производства
6038	Серы диоксид и фенол

Продолжение таблицы А.33

Код	Вещества, входящие в группу
6039	Серы диоксид и фтористый водород
6040	Серы диоксид и трехокись серы, аммиак и окислы азота
6041	Серы диоксид и кислота серная
6042	Серы диоксид и никель металлический
6043	Серы диоксид и сероводород
6044	Сероводород и динил
6045	Сильные минеральные кислоты (серная, соляная и азотная)
6046	Углерода оксид и пыль цементного производства
6047	Уксусная кислота и уксусный ангидрид
6048	Фенол и ацетофенон
6049	Фурфурол, метиловый и этиловый спирты
6050	Циклогексан и бензол
6051	Этилен, пропилен, бутилен и амилен
Неполное суммирование	
6201	Вольфрамат натрия, парамолибдат аммония, свинца ацетат (K=1,6)
6202	Вольфрамат натрия, мышьяковистый ангидрид, парамолибдат аммония, свинца ацетат (K=2,0)
6203	Вольфрамат натрия, германия диоксид, мышьяковистый ангидрид, парамолибдат аммония, свинца ацетат (K=2,5)
Потенцирование	
6301	Бутилакрилат и метилакрилат (K=0,8)
6302	Фтористый водород и фторсоли (K=0,8)

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(рекомендуемое)
Пример расчета

Исходные данные:

Состав выбросов:

Ацетон 35 г/с.

Зола 22 г/с.

ПДК среднесуточная:

Ацетон ПДК^a_{cc} = 0,35 мг/м³.

Золы ПДК³_{cc} = 0,15 мг/м³.

ПДК максимальная разовая:

Ацетона ПДК^a_{mp} = 0,35 мг/м³.

Золы ПДК³_{mp} = 0,5 мг/м³.

$C_{\phi} = 0,5$ ПДК_{cc}

Скорость оседания золы = 0,7 см/с.

Характеристики источника:

Диаметр трубы - 1,1 м.

Высота трубы - 30 м.

Скорость выхода газовой смеси - 4,8 м/с.

Температура газовой смеси - 118°C.

Температура окружающей среды - 25°C.

1 Рассчитать:

1 Максимальную приземную концентрацию загрязняющих веществ.

2 Расстояние, на котором достигается максимальная приземная концентрация.

3 Концентрации загрязняющих веществ на различных расстояниях от источника.

4 Концентрации загрязняющих веществ на различной высоте от поверхности земли.

5 Максимальные приземные концентрации от скорости ветра.

6 Предельно допустимые выбросы предприятия (ПДВ).

7 Необходимую степень очистки выбросов.

2 Определить зависимость максимальной приземной концентрации от высоты трубы.

3 Построить графики зависимости концентрации загрязняющих веществ от:

- а) расстояния от источника,
- б) поверхности земли,
- в) скорости ветра и высоты трубы.

4 Построить поле концентраций с учетом розы ветров.

Расчет максимальной приземной концентрации загрязняющих веществ

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества C_m мг/м³, при выбросе нагретой газозооушной смеси из одиночного источника с круглым устьем достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии X_m м, от источника определяется по формулам (2.1)-(2.11)

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 1,1^2}{4} \cdot 4,8 = 4,56 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$f = \frac{1000 \cdot 4,8^2 \cdot 1,1}{30^2 \cdot 93} = 0,30,$$

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{4,56 \cdot 93}{30}} = 1,57,$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,26} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,26}} = 1,05,$$

$$n = 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 v_m + 3,13 = 1,1.$$

Значение безразмерного коэффициента F принимаем равным 1 для ацетона и для золы – 2.

Определяем значения максимальной концентрации.

– для ацетона:

$$c_{ma} = \frac{160 \cdot 35 \cdot 1 \cdot 1,05 \cdot 1,1}{30^2 \cdot \sqrt[3]{4,56 \cdot 93}} = 0,96 \text{ мг/м}^3,$$

– для золы:

$$c_{mз} = \frac{160 \cdot 22 \cdot 2 \cdot 1,05 \cdot 1,1}{30^2 \cdot \sqrt[3]{4,56 \cdot 93}} = 1,10 \text{ мг/м}^3.$$

Расчет расстояния, на котором достигается максимальная приземная концентрация загрязняющих веществ

Расстояние X_m , м, от источника выброса, на котором приземная концентрация C , мг/м³, при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения и определяется по формулам (2.12-2.15)

$$d = 4,95 \cdot 1,57 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{0,3}) = 9,2,$$

Определяем расстояния X_m

– для ацетона:

$$X_{ма} = \frac{5-1}{4} \cdot 9,2 \cdot 30 = 276\text{м},$$

– для золы:

$$X_{мз} = \frac{5-2}{4} \cdot 9,2 \cdot 30 = 207\text{м}.$$

Расчет приземной концентрации загрязняющих веществ на различных расстояниях от источника

При опасной скорости ветра U_m приземная концентрация вредных веществ C , мг/м³ и приведенная концентрация q в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях X , м, от источника выброса определяется по формулам (2.26)-(2.30), а приведенные концентрации как следующие соотношения

$$q_a = \frac{c_{xa}}{ПДК_{cc}} ; \quad q_z = \frac{c_{xz}}{ПДК_{cc}} .$$

Вычисленные значения S_1 ; $c_{x\lambda}$; c_{x3} , q_λ, q_3 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет приземной концентрации загрязняющих веществ на различных расстояниях от источника

X	$X/X_{ма}$	$X/X_{мз}$	$S_{1а}$	$S_{1з}$	$C_{ха}$	$C_{хз}$	q_a	$q_з$
20	0,072	0,096	0,028	0,052	0,027	0,015	0,078	0,106
100	0,362	0,483	0,458	0,793	0,440	1,538	1,258	1,682
200	0,724	0,966	0,933	0,963	0,896	0,513	2,561	3,423
300	1,086	1,456	0,979	0,813	0,940	0,538	2,686	3,591
400	1,449	1,932	0,887	0,667	0,852	0,488	2,434	3,254
500	1,811	2,415	0,792	0,612	0,760	0,435	2,172	2,904
600	2,173	2,898	0,699	0,542	0,671	0,384	1,919	2,566
700	2,536	3,381	0,615	0,435	0,590	0,338	1,687	2,256
800	2,898	3,864	0,540	0,354	0,518	0,297	1,481	1,980
900	3,260	4,347	0,474	0,272	0,455	0,260	1,300	1,739
1000	3,623	4,830	0,417	0,240	0,400	0,229	1,145	1,530
1200	4,347	5,797	0,326	0,212	0,313	0,179	0,896	1,198
1400	5,072	6,763	0,260	0,146	0,249	0,143	0,713	0,953
1600	5,797	7,729	0,210	0,110	0,202	0,115	0,577	0,771
1800	6,521	8,695	0,173	0,090	0,166	0,095	0,474	0,634
2000	7,246	9,661	0,144	0,058	0,138	0,079	0,396	0,529
2500	9,057	12,077	0,095	0,038	0,091	0,052	0,261	0,350

Расчет концентрации загрязняющих веществ на различной высоте от поверхности земли

Значение концентрации загрязняющих веществ C_y , на расстоянии $У$ по перпендикуляру к оси факела определяется по формуле (2.32).

Коэффициент S_2 определяется по формулам (2.33-2.35).

Вычисленные значения S_2 ; c_{YA} ; c_{Y3} ; q_A ; q_3 представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет приземной концентрации загрязняющих веществ на различной высоте от поверхности земли

Y	$Y/X_{ма}$	$Y/X_{мз}$	S_{2a}	$S_{2з}$	c_{ya}	$c_{yз}$	q_a	$q_з$
10	0,036	0,048	0,970	0,984	0,944	0,975	2,699	2,134
20	0,072	0,097	0,886	0,939	0,901	0,695	2,576	1,949
40	0,144	0,193	0,632	0,783	0,752	0,539	2,148	1,690
60	0,217	0,290	0,361	0,583	0,560	0,278	1,600	1,078
70	0,253	0,338	0,253	0,481	0,462	0,187	1,320	0,794
80	0,289	0,386	0,170	0,385	0,370	0,122	1,057	1,413
90	0,326	0,435	0,111	0,299	0,287	0,079	0,822	0,557
100	0,362	0,486	0,072	0,227	0,218	0,052	0,623	0,374
110	0,398	0,538	0,047	0,169	0,162	0,034	0,463	0,244
120	0,434	0,580	0,031	0,124	0,119	0,017	0,340	0,158

Анализ влияния высоты трубы на максимальную приземную концентрацию загрязняющих веществ

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества C_m мг/м³, при выбросе нагретой газовой смеси из одиночного источника с круглым устьем достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии X_m м, от источника определяется по формулам (2.1)-(2.11). При этом варьируется высота источника с произвольно выбранным шагом в 10 м.

Результаты вычислений приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Анализ влияния высоты трубы на максимальную приземную концентрацию загрязняющих веществ

$H, м$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$c_{ма}, мг/м^3$	8,61	2,15	0,96	0,54	0,34	0,24	0,18	0,13	0,11	0,09
$c_{мз}, мг/м^3$	5,41	1,35	0,60	0,34	0,22	0,15	0,11	0,08	0,07	0,05
q_a	24,6	6,15	2,73	1,54	0,98	0,68	0,5	0,38	0,3	0,25
$q_з$	36,0	9,02	4,01	2,25	1,44	1,00	0,74	0,56	0,45	0,36

Расчет предельно допустимых выбросов предприятия

Значение ПДВ, для одиночного источника с круглым устьем в случае $c_{\phi} < \text{ПДК}$ определяется по формуле, г/с

$$\text{ПДВ} = \frac{\text{ПДК}_{\text{пр}} - c_{\phi}}{c_m} \cdot M,$$

$$C_{\phi} = 0,5 \cdot \text{ПДК}_{\text{сс}},$$

$$C_{\text{фа}} = 0,5 \cdot \text{ПДК}_{\text{сс}} = 0,5 \cdot 0,35 = 0,175 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{\text{фз}} = 0,5 \cdot \text{ПДК}_{\text{сс}} = 0,5 \cdot 0,15 = 0,075 \text{ мг/м}^3.$$

$$\text{ПДВ}_{\text{оа}} = \frac{0,35 - 0,175}{0,96} \cdot 35 = 6,38;$$

$$\text{ПДВ}_3 = \frac{0,5 - 0,075}{0,55} \cdot 22 = 17$$

Расчет минимально необходимой степени очистки выбросов загрязняющих веществ

Минимально необходимая степень очистки выбросов определяется по формуле

$$\theta = \frac{M - \text{ПДВ}}{M} \cdot 100$$

$$\theta_{\text{оа}} = \frac{35 - 6,38}{35} \cdot 100 = 81,7 \%;$$

$$\theta_3 = \frac{22 - 17}{22} \cdot 100 = 22,7 \%;$$

Построение поля концентрации с учетом розы ветров

Размеры поля концентраций, на границах которого концентрация достигает максимального и допустимого значения определяются по формулам (4.1)-(4.2)

Результаты расчетов поля концентраций приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов поля концентраций

		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
		9	12	8	13	17	12	15	14
Х _{ма}	276	198	264	176	287	375	264	331	309
Х _{мз}	207	149	199	132	215	282	199	248	232
Х _{ча}	1200	864	1152	768	1248	1632	1152	1440	1344
Х _{чз}	1400	1008	1344	896	1456	1904	1344	1680	1568

Построение графиков

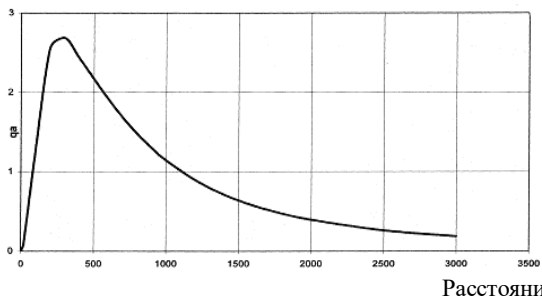


Рисунок 1 – Зависимость приведенной концентрации ацетона от расстояния от источника

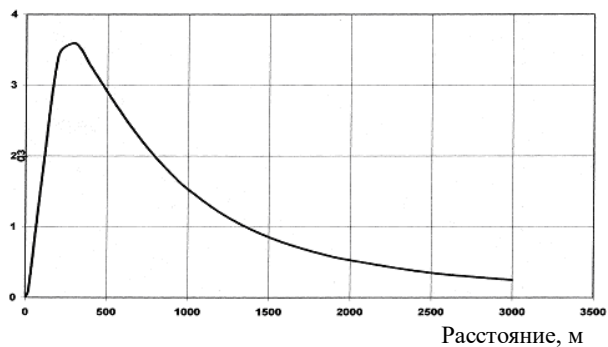


Рисунок 2 – Зависимость приведенной концентрации золы от расстояния от источника

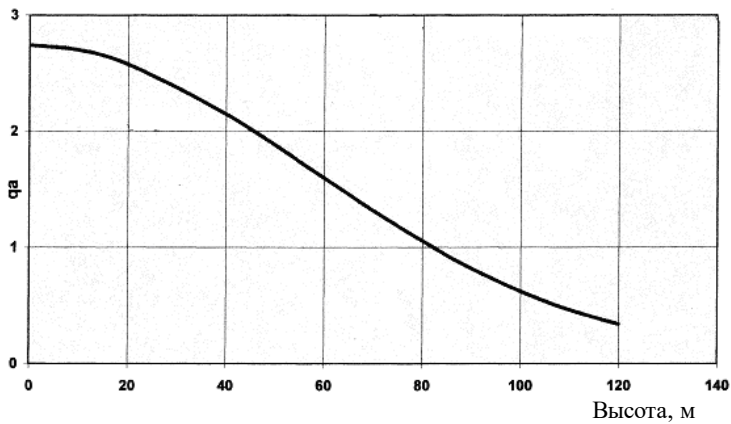


Рисунок 3 – Зависимость приведенной концентрации ацетона от расстояния от поверхности земли

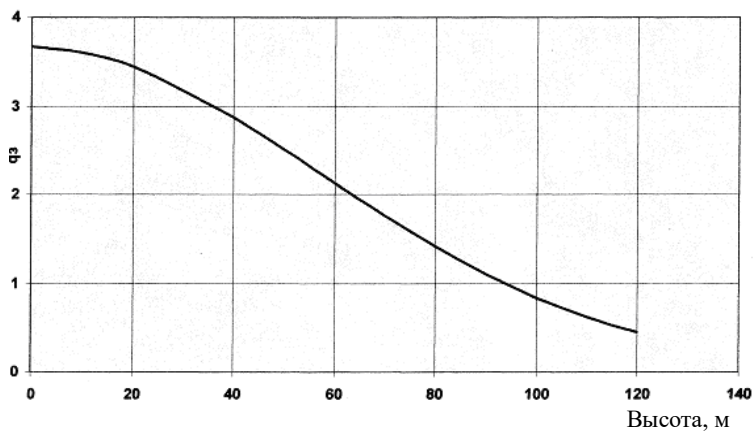


Рисунок 4 – Зависимость приведенной концентрации пыли от расстояния от поверхности земли

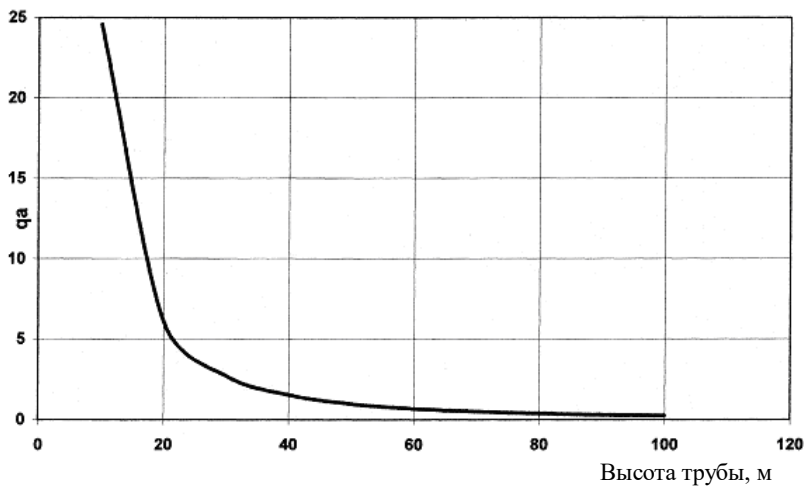


Рисунок 5 – Зависимость приведенной концентрации ацетона от высоты трубы

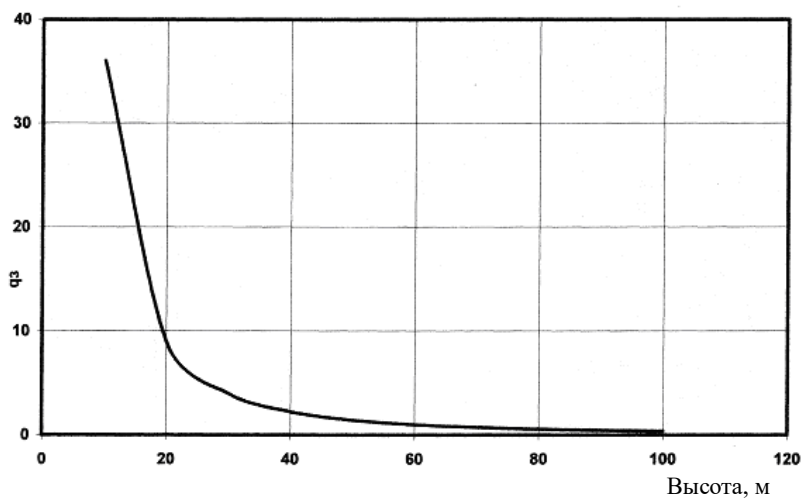


Рисунок 6 – Зависимость концентрации загрязняющих веществ от высоты трубы

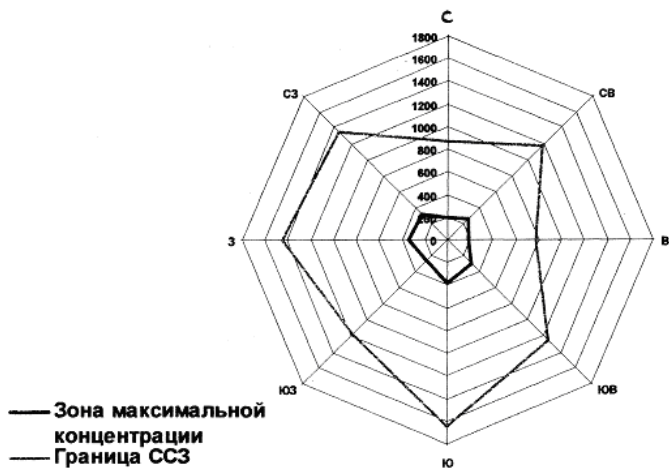


Рисунок 7 – Поле концентраций ацетона

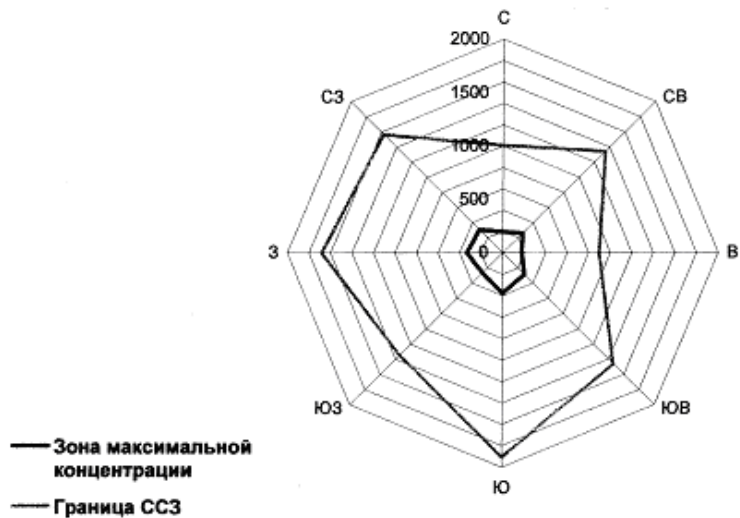


Рисунок 8 – Поле концентраций пыли

Выводы

1 Максимальная концентрация ацетона превышает в 2,7 раз норму и достигается на расстоянии 276 м; максимальная концентрация золы превышает в 3,6 раз норму и достигается на расстоянии 276 м.

2 Чистая зона по ацетону начинается за пределами 1400 м и по высоте выше 100 м. Чистая зона по золе начинается за пределами 1400м, а по высоте выше 90 м.

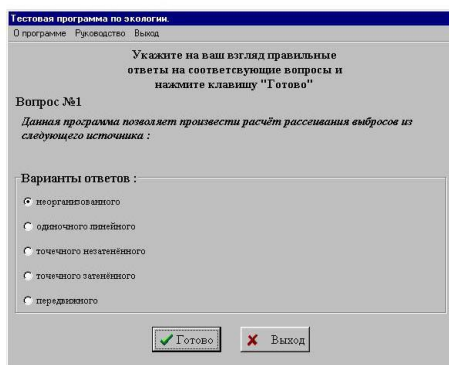
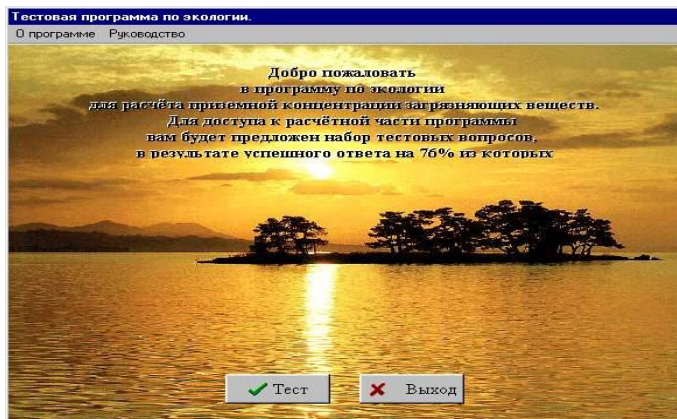
3 С увеличением высоты трубы концентрация загрязняющих веществ уменьшается.

4 В соответствии с полем концентрации и с учетом розы ветров завод нужно расположить на южной стороне города.

5 Минимально необходимая степень очистки для обеспечения экологической безопасности:

- для ацетона – 81,7%,
- для золы – 22,7% .

ПРИЛОЖЕНИЕ В (рекомендуемое)



Вы отлично справились с тестом, ответив на 17 вопросов из 20

Расчётная часть

Расчёт

Расчётная часть

Ввод данных Произвести расчёт Вывести графики Печать Справка Выход

Введите исходные данные в соответствующие поля :

Исходные данные для расчёта :

Масса первого вещества (тыс тон/год)	<input type="text" value="1.82"/>
Масса второго вещества (тыс тон/год)	<input type="text" value="0.12"/>
Диаметр трубы (м)	<input type="text" value="0.7"/>
Высота трубы (м)	<input type="text" value="36."/>
Скорость выхода газозооной смеси (м/с)	<input type="text" value="10."/>
Температура смеси (град С)	<input type="text" value="50."/>
Температура окружающей среды (град С)	<input type="text" value="20."/>
<input type="checkbox"/> Коэффициент ооночки	<input type="text" value="."/>

Первое вещество

- Аммиак
- Окись углерода
- Диоксид серы

Второе вещество

- Оксид азота
- Зола
- Сероводород

Основные параметры расчёта	
Основные параметры :	Значения
Максимальная концентрация первого вещества C_{max1} (мг/м ³)	1,894
Максимальная концентрация второго вещества C_{max2} (мг/м ³)	0,124
Расстояние X_{max} для первого вещества (м)	228,9
Расстояние X_{max} для второго вещества (м)	228,9
Расход газовой смеси V_m (м ³ /с)	0,958
Безразмерный коэффициент n ;	1,577
Безразмерный коэффициент m	0,821
Опасная скорость ветра U_m (м/с)	0,958
Безразмерный параметр d	6,361
Параметр оседания f	1,800
ПДВ для первого вещества (мг/м ³)	54,82
ПДВ для второго вещества (мг/м ³)	16,44
Коэффициент очистки первого вещества (%)	5,009
Коэффициент очистки второго вещества (%)	0

Закреть

Расчёт зависимости концентрации загрязняющих веществ от расстояния от источника

Изменение пределов вычислений

▲ min

mid

max ▼

Пересчитать

Расчёт для первого вещества (Аммиак)

х, м	х/Хм	S	с, г/м ³	с/ПДК
98,5	0,430	0,576	1,091	5,458
197	0,860	0,990	1,876	9,382
295,5	1,290	0,928	1,760	8,801
394	1,720	0,815	1,546	7,731
492,5	2,150	0,705	1,337	6,686
591	2,580	0,605	1,147	5,737
689,5	3,010	0,518	0,982	4,914
788	3,441	0,444	0,843	4,216
886,5	3,871	0,383	0,726	3,631
985	4,301	0,331	0,628	3,144
1083	4,731	0,288	0,547	2,737
1182	5,161	0,253	0,479	2,398
1280	5,591	0,223	0,422	2,113
1379	6,021	0,197	0,374	1,873
1477	6,452	0,176	0,333	1,669
1576	6,882	0,157	0,299	1,495
1674	7,312	0,142	0,269	1,346
1773	7,742	0,128	0,243	1,217
1871	8,172	0,114	0,216	1,083
1970	8,602	0,104	0,198	0,992

Автоматический ▼

О.К.

Расчёт для второго вещества (Оксид азота)

х, м	х/Хм	S	с, г/м ³	с/ПДК
50,5	0,220	0,213	0,026	0,443
101	0,441	0,594	0,074	1,237
151,5	0,661	0,884	0,110	1,841
202	0,882	0,994	0,124	2,069
252,5	1,102	0,975	0,121	2,031
303	1,323	0,920	0,115	1,916
353,5	1,543	0,862	0,107	1,796
404	1,764	0,804	0,100	1,675
454,5	1,984	0,747	0,093	1,556
505	2,205	0,692	0,086	1,441
555,5	2,425	0,640	0,079	1,333
606	2,646	0,591	0,073	1,231
656,5	2,866	0,546	0,068	1,137
707	3,087	0,504	0,063	1,050
757,5	3,307	0,466	0,058	0,971
808	3,528	0,431	0,053	0,898
858,5	3,748	0,399	0,049	0,832
909	3,969	0,370	0,046	0,771
959,5	4,189	0,344	0,043	0,716
1010	4,410	0,320	0,040	0,666

Ручной пересчёт ▼

Изменение пределов вычислений

▲ min

mid

max ▼

Пересчитать

Расчёт зависимости концентрации загрязняющих веществ от высоты от поверхности земли на расстоянии Хм от источника

Изменение пределов вычислений

▲ min

mid

max ▼

Пересчитать

Расчёт для первого вещества (Аммиак)

у, м	у/Хм	S2	с, г/м ³	с/ПДК
6	6	6	6	9,422
12	12	12	12	9,267
18	18	18	18	9,016
24	24	24	24	8,677
30	30	30	30	8,261
36	36	36	36	7,779
42	42	42	42	7,243
48	48	48	48	6,665
54	54	54	54	6,059
60	60	60	60	5,437
66	66	66	66	4,816
72	72	72	72	4,209
78	78	78	78	3,631
84	84	84	84	3,095
90	90	90	90	2,609
96	96	96	96	2,179
102	102	102	102	1,805
108	108	108	108	1,487
114	114	114	114	1,220
120	120	120	120	0,998

Ручной пересчёт ▼

Расчёт для второго вещества (Оксид азота)

у, м	у/Хм	S2	с, г/м ³	с/ПДК
3,5	0,015	0,998	0,124	2,078
7	0,030	0,992	0,124	2,066
10,5	0,045	0,983	0,122	2,047
14	0,061	0,970	0,121	2,020
17,5	0,076	0,954	0,119	1,987
21	0,091	0,934	0,116	1,946
24,5	0,106	0,912	0,114	1,900
28	0,122	0,887	0,110	1,847
31,5	0,137	0,859	0,107	1,790
35	0,152	0,829	0,103	1,728
38,5	0,168	0,798	0,099	1,661
42	0,183	0,764	0,095	1,591
45,5	0,198	0,729	0,091	1,518
49	0,213	0,693	0,086	1,443
52,5	0,229	0,655	0,081	1,365
56	0,244	0,617	0,077	1,286
59,5	0,259	0,579	0,072	1,206
63	0,275	0,541	0,067	1,126
66,5	0,290	0,502	0,062	1,047
70	0,305	0,465	0,058	0,969

Ручной пересчёт ▼

О.К.

Изменение пределов вычислений

▲ min

mid

max ▼

Пересчитать

Расчёт изменения концентрации з.в. при скоростях ветра, отличных от опасной

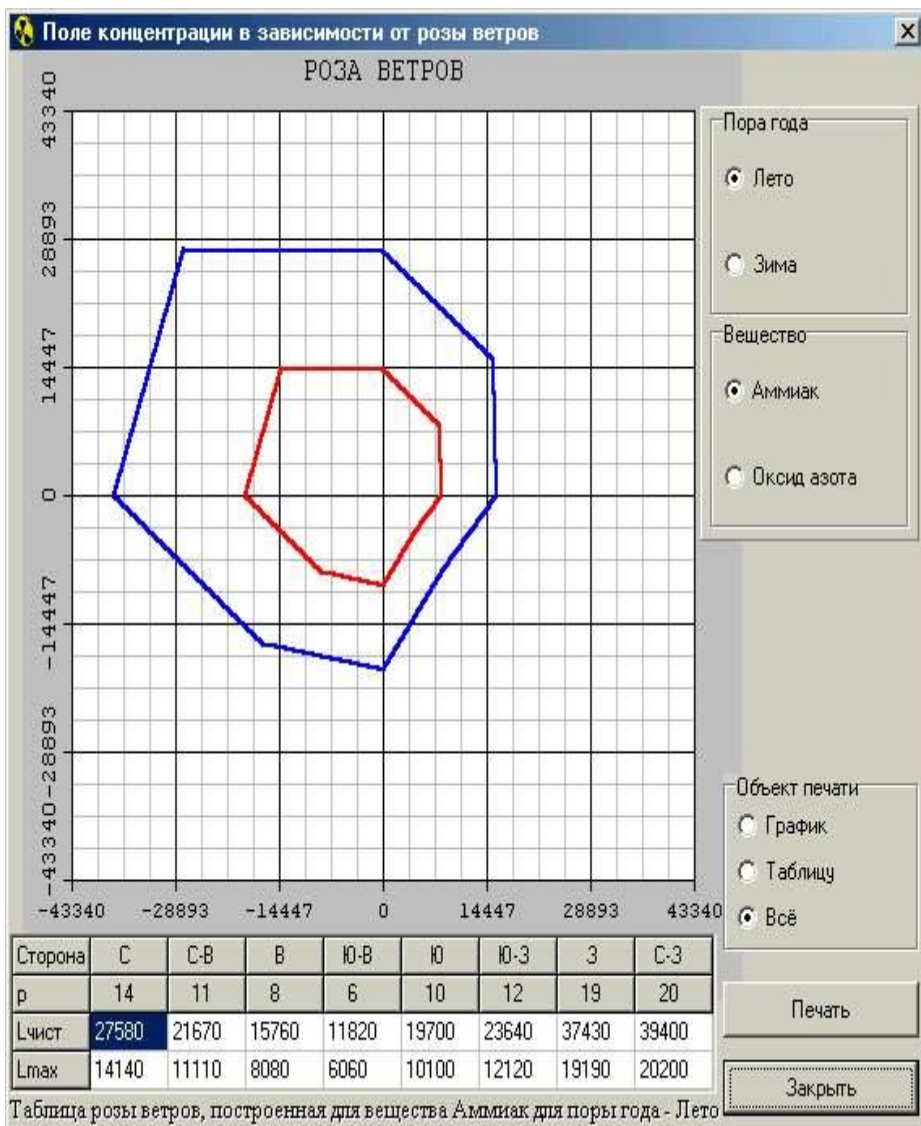
Расчёт для первого вещества (Аммиак)

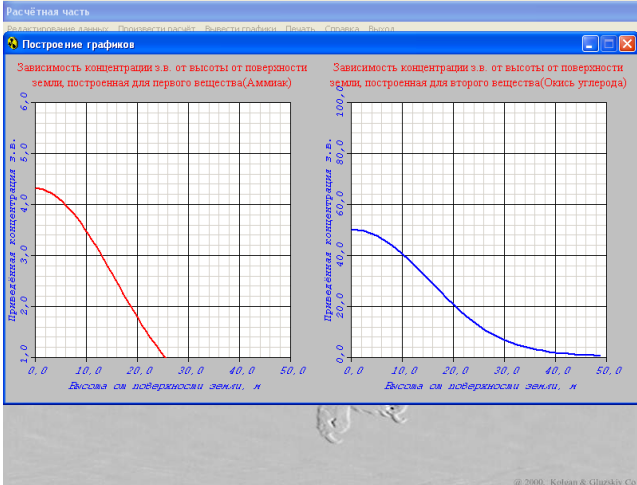
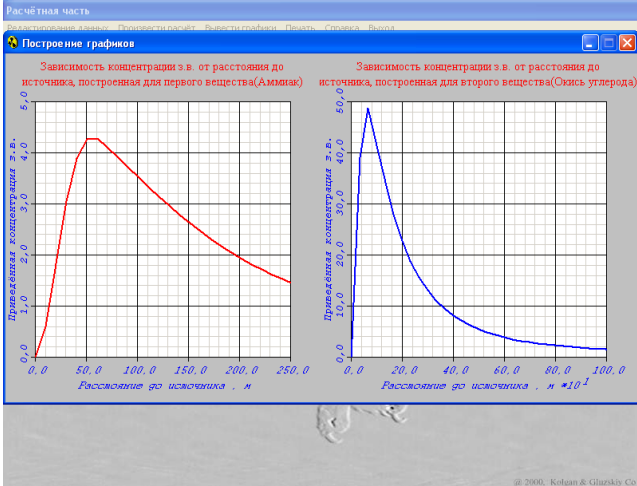
U, м/с	U/U _н	коэфф.г	c, г/м ³	c/ПДК
0,095	0,100	0,082	0,156	0,780
0,191	0,200	0,190	0,360	1,800
0,287	0,300	0,315	0,597	2,985
0,383	0,400	0,449	0,851	4,258
0,479	0,5	0,585	1,108	5,542
0,575	0,600	0,713	1,352	6,762
0,670	0,700	0,827	1,568	7,841
0,766	0,800	0,918	1,740	8,704
0,862	0,900	0,978	1,854	9,274
0,958	1	1	1,894	9,474
1,054	1,100	0,993	1,883	9,417
1,150	1,200	0,978	1,853	9,268
1,246	1,299	0,955	1,811	9,056
1,341	1,400	0,929	1,760	8,803
1,437	1,5	0,899	1,705	8,527
1,533	1,600	0,869	1,647	8,238
1,629	1,699	0,838	1,589	7,947
1,725	1,800	0,808	1,531	7,659
1,821	1,899	0,778	1,475	7,377
1,917	2	0,75	1,421	7,105

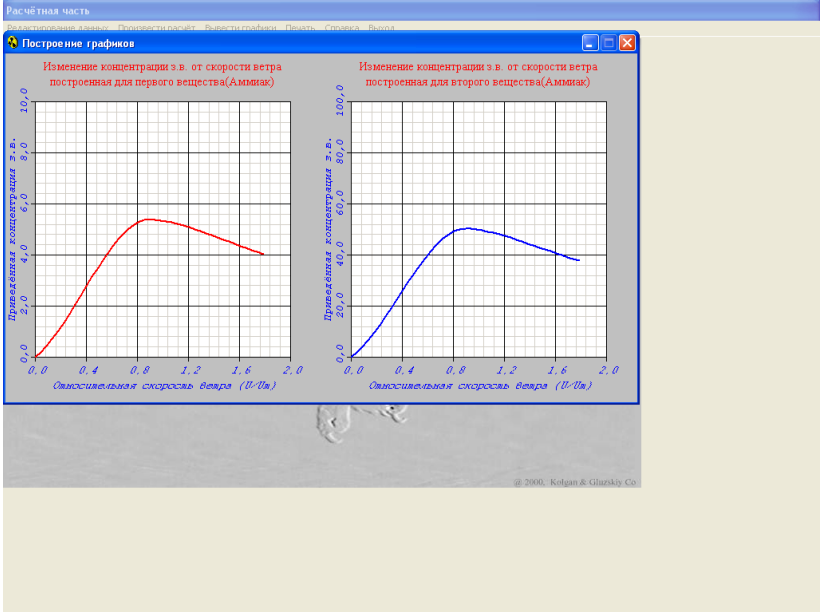
Расчёт для второго вещества (Оксид азота)

U, м/с	U/U _н	коэфф.г	c, г/м ³	c/ПДК
0,095	0,100	0,082	0,010	0,171
0,191	0,200	0,190	0,023	0,395
0,287	0,300	0,315	0,039	0,656
0,383	0,400	0,449	0,056	0,935
0,479	0,5	0,585	0,073	1,218
0,575	0,600	0,713	0,089	1,486
0,670	0,700	0,827	0,103	1,723
0,766	0,800	0,918	0,114	1,913
0,862	0,900	0,978	0,122	2,038
0,958	1	1	0,124	2,082
1,054	1,100	0,993	0,124	2,069
1,150	1,200	0,978	0,122	2,037
1,246	1,299	0,955	0,119	1,990
1,341	1,400	0,929	0,116	1,934
1,437	1,5	0,899	0,112	1,874
1,533	1,600	0,869	0,108	1,810
1,629	1,699	0,838	0,104	1,746
1,725	1,800	0,808	0,100	1,683
1,821	1,899	0,778	0,097	1,621
1,917	2	0,75	0,093	1,561

О.К.







Список рекомендуемой литературы

- 1 Об охране окружающей среды. Закон Республики Беларусь от 26 ноября 1992г.- В сб.: Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды /Сост. И.В. Войтов, Р.К. Кожевникова, М.Я. Петрова.- Вып.7.-Минск.-146 с.
- 2 ГОСТ 17.2.3.02-78. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями. – 01.01.80.-М.: Издательство стандартов, 1979 – 14 с. – группа Т58.
- 3 Типовая инструкция по организации системы контроля промышленных выбросов в атмосферу в отраслях промышленности. – Л.: Ртп. Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 1986. – 25 с.
- 4 Шаприцкий В.Н. Разработка нормативов ПДВ для защиты атмосферы. Справочник. – М.: Металлургия, 1990. – 415 с.
- 5 Рекомендации по оформлению и содержанию проекта нормативов предельно допустимых выбросов в атмосферу (ПДВ) для предприятия. – Новосибирск – 33: ЗапСибНИИ, 1987.- 42 с.
- 6 Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.- 270 с.
- 7 Химическая энциклопедия: т.І /Ред-кол.:Кнунянц И.Л. (гл.ред.) и др.-М.: Советская энциклопедия. 1988.- 623 с.
- 8 Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 183 с.
- 9 Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. – СПб.: издательство «Петербург – XXI век», 1995. – 144 с.
- 10 Об охране окружающей среды: Закон Республики Беларусь от 15 апреля 1997 г. В сб.: Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды /Сост. Р.К. Кожевникова. – Вып.18. – Минск.: Белорусский научно-исследовательский центр «Экология», 1997. – 176 с.
- 11Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды /Сост. И.В. Войтов, Р.К. Кожевникова, В.И. Корбут: Част III. – Минск.: Государственный комитет Республики Беларусь по экологии, 1993. – 164 с.
- 12 Временная методика по определению выбросов вредных веществ в атмосферу предприятиями отрасли. – М. Министерство радиопромышленности СССР, 1990 –145 с.
- 13 Методические указания по расчету выбросов вредных веществ в атмосферу предприятиями Министерства бытового обслуживания населения. РСФСР – М.ЦБНТИ, 1990 – 137 с.
- 14 Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. – Минск, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды республики Беларусь, 1997 – 51 с.

15 Инструкция по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. – Л.: Ленинградский дом научно-технической пропаганды (ЛДНТП). 1991. – 15 с.

16 Величковский Б. Т. и др. Здоровье человека и окружающая среда. М.:Новая школа, 1997. – 235 с.

17 Защита окружающей среды от техногенных воздействий под ред. Невской Г. В. М.: МГОУ, 1993. – 313 с.

18 Экология, охрана природы и экологическая безопасность. Учебное пособие в 2-х книгах под ред. Проф. Данилова-Данильяна В. И.М.: МНЭПУ, 1997. –.503 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

В в е д е н и е.....	3
1 Законы рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере.....	5
1.1 Общая характеристика атмосферы Земли.....	5
1.2 Загрязнение атмосферы.....	12
1.3 Влияние загрязнения атмосферы на человека, растительный и животный мир.....	20
1.4 Антропогенное изменение климата городов.....	34
1.6 Физические принципы, область применения расчетов	36
1.7 Нормирование качества атмосферного воздуха.....	48
1.8 Предельно-допустимые выбросы предприятий.....	50
2 Расчет загрязнения атмосферы выбросами одиночного источника.....	51
2.1 Горячие выбросы ($\Delta T > 0$)	51
2.2 Холодные выбросы ($\Delta T \approx 0$)	62
2.3 Решение обратных задач	63
2.4 Выбросы в атмосферу, обусловленные сжиганием топлива.....	65
2.5 Суммарные выбросы от нескольких источников.....	66
2.6 Выбросы от близко расположенных одинаковых источников.....	66
2.7 Выбросы источников, имеющих различные параметры.....	67
3 Расчет загрязнения атмосферы выбросами линейного источника.....	69
4 Построение поля концентраций с учетом розы ветров.....	72
5 Компьютерные программы расчета загрязнения атмосферы.....	73
Приложение А.....	80
Приложение Б.....	88
Приложение В.....	97
С п и с о к р е к о м е н д у е м о й л и т е р а т у р ы.....	108

