

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

В.А. ЗАФАТАЕВ

Инженерная экология

**«ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
ПРОЕКТИРУЕМОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА»**

Методические указания к выполнению курсовой работы  
для студентов специальности 70 04 02  
«Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»  
очной и заочной форм обучения

Новополоцк  
ПГУ  
2013

УДК 504.03 (075.32)  
ББК 20. 1я723

Одобрено и рекомендовано к изданию  
методической комиссией инженерно-технологического факультета  
в качестве методических указаний (протокол № \_\_ от \_\_\_\_\_ )

Кафедра теплогазоснабжения и вентиляции

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

ст. преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Е.С. ДОБРОСОЛЬЦЕВА  
аспирант кафедры «Строительное производство» Н.В. ДАВЫДЕНКО

Подготовлены в соответствии с учебным планом и программой курса «Инженерная экология» специальности 70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» с использованием действующей учебной и нормативной литературы.

Предназначены для студентов специальности 70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна».

© Зафатаев В.А., 2013  
© УО «Полоцкий государственный университет», 2013

## СОДЕРЖАНИЕ

Общие указания	4
Графическая часть	4
Расчётно-пояснительная записка	4
Экологическое обоснование проектируемого объекта	
1 Оценка влияния выбросов загрязняющих веществ на состояние окружающей среды	6
2 Инвентаризация источников выбросов, определение доминирующих вредностей	17
3 Расчёт категории опасности промышленного объекта	57
4 Расчёт рассеивания вредных веществ в атмосфере и установление предельно допустимых выбросов	59
5 Расчёт размера санитарно-защитной зоны	80
6 Расчёт экологического ущерба от загрязнения атмосферы	85
7 Проведение природоохранных мероприятий с целью достижения приземными концентрациями вредных веществ нормативов ПДВ	100
Литература	127

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Курсовая работа на тему «Экологическое обоснование проектируемого промышленного объекта» предназначена для закрепления теоретических знаний по дисциплине «Инженерная экология».

Целью курсовой работы является выбор правильного места расположения промышленного предприятия на основании розы ветров и расчета рассеивания вредных выбросов.

При выполнении курсовой работы студент должен научиться:

- рассчитывать качественный и количественный состав выделений вредных веществ в окружающую среду от технологического оборудования различных отраслей промышленности и определять доминирующие;
- производить расчеты рассеивания вредных компонентов в атмосфере с определением концентраций в заданных точках;
- рассчитывать экономический ущерб от загрязнения окружающей среды промышленным объектом и экономическую эффективность от природоохранных мероприятий.

Работа включает в себя графическую часть и расчётно-пояснительную записку.

### Графическая часть

Графическая часть работы содержит:

- розу ветров района строительства предприятия;
- графическую интерпретацию результатов расчета рассеивания вредных веществ в атмосфере с нанесением изолиний равных приземных концентраций вредных веществ, границы зоны влияния источника выбросов, границы зоны загрязнения по направлению к жилому массиву, границы санитарно-защитной зоны, указанием местоположения источника выбросов и жилого массива;
- схему изменения приземной концентрации доминирующего вредного вещества по направлению к жилому массиву;
- фактическую и теоретическую санитарно-защитные зоны;
- предложения по нормативам ПДВ.

### Расчётно-пояснительная записка

Расчётно-пояснительная записка включает в себя:

- титульный лист;
- задание на курсовую работу;

- ü содержание
- ü основные разделы
- ü список литературы.

Текст излагается на одной стороне листа бумаги формата А4 рукописным способом или с применением средств Microsoft Word. Пояснительная записка делится на разделы и подразделы. При оформлении пояснительной записки необходимо руководствоваться правилами, изложенными в /1/.

В разделе «Общая часть» приводятся:

- краткое описание промышленного узла (назначение цеха, район строительства, высота и диаметр устья источника вредных выбросов (трубы, вентиляционной шахты), средняя скорость выхода газов из устья, температура выбросных газов;
- климатологические данные местности строительства (расчётные температуры, скорость и повторяемость ветра).

В разделе «Экологическое обоснование проектируемого объекта» приводятся:

- анализ и оценка влияния выбросов загрязняющих веществ на состояние окружающей среды;
- инвентаризация источников выбросов, определение доминирующих вредностей;
- расчёт категории опасности промышленного объекта;
- расчёт рассеивания вредных веществ в атмосфере и установление предельно допустимых выбросов (ПДВ);
- уточнение размера санитарно-защитной зоны;
- расчёт экологического ущерба от загрязнения атмосферы;
- проведение природоохранных мероприятий с целью достижения приземными концентрациями вредных веществ нормативов ПДВ.

# 1 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Основными ингредиентами загрязнения атмосферы являются оксиды углерода (CO), азота (NO<sub>x</sub>) и серы (SO<sub>x</sub>), углеводороды (C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>) и взвешенные частицы (пыль).

Загрязняющие вещества, выброшенные в воздушный бассейн в виде газов или аэрозолей, могут:

- оседать под действием силы тяжести (крупнодисперсные аэрозоли);
- физически захватываться оседающими частицами (осадками) и поступать в лито- и гидросферу;
- включаться в биосферный круговорот соответствующих веществ (углекислый газ, пары воды, оксиды серы и азота и пр.);
- изменять свое агрегатное состояние (конденсироваться, испаряться, кристаллизоваться и т. п.) или химически взаимодействовать с другими компонентами воздуха, после чего пойти одним из вышеуказанных путей;
- находиться в атмосфере относительно длительное время, переноситься циркуляционными потоками в различные слои тропо- и стратосферы и в разные географические области планеты до тех пор, пока не создадутся условия для их физической или химической трансформации (например, фреоны).

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха на территории нашей республики являются промышленные предприятия, автотранспорт и объекты энергетики [2]. Большая часть загрязнителей поступает от автотранспорта – 55% (см. таблицу 1.1).

Таблица 1.1

## Доля, вносимая основными антропогенными источниками в загрязнение атмосферы

Вид деятельности	Массовая доля в суммарном выбросе всех загрязняющих веществ за год, %
Все виды транспорта	50-60
Производство пара, тепловой и электрической энергии	10-15
Промышленные технологии и процессы горения	15-20
Сжигание отходов	5

В составе выбросов преобладают: оксид углерода 60%; диоксид серы 10%; углеводороды 7%; оксиды азота 9%.

Из всей массы загрязняющих веществ, которые поступают в атмосферу от антропогенных источников, 90% составляют газообразные вещества (оксиды серы, азота, углерода, тяжелых и радиоактивных металлов и др.), 10% – твердые и жидкие вещества.

Основные антропогенные источники загрязнения атмосферы представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

### Основные источники загрязнения атмосферного воздуха [3]

Группа	Аэрозоли	Газообразные выбросы
Котлы и промышленные печи	Зола, сажа (Pb, Mo, Li, V, Ni, Cu, Zn, Sn, Hg, N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , а также CO, альдегиды (НСОН), органические кислоты, бенз(а)пирен
Автомобильные двигатели	Сажа (Pb)	CO, NO <sub>2</sub> , альдегиды, углеводороды неканцерогенные, бенз(а)пирен
Нефтеперерабатывающая промышленность	Пыль, сажа	SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, углеводороды, меркаптаны, кислоты, альдегиды, кетоны, канцерогенные вещества
Химическая промышленность	Пыль, сажа (Zn, Sn, Sb, Mo, Co, Ni, Cu, Bi, W, Hg, Cd)	В зависимости от процесса (H <sub>2</sub> S, CS <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , кислоты, органические вещества, растворители, летучие вещества, сульфиды и др.)
Металлургия и коксохимия	Пыль (Mn, Zn, Pb, Mo), оксиды железа	SO <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , фтористые соединения, цианистые соединения, органические вещества, бенз(а)пирен
Горная промышленность	Пыль, сажа	В зависимости от процесса (CO, фтористые соединения, органические вещества)
Пищевая промышленность	Пыль	NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S (многокомпонентные смеси органических соединений)
Промышленность строительных материалов	Пыль (Zn, Bi, Mo, Ca, Ba)	CO, органические соединения

Основными загрязняющими веществами, поступающими в атмосферу при сжигании топлива, являются твердые частицы (зола, сажа), оксиды серы (SO<sub>2</sub> и SO<sub>3</sub>), оксиды азота (NO и NO<sub>2</sub>). При неполном сгорании топлива в газообразных выбросах могут накапливаться оксиды

углерода (CO), углеводороды типа CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, полициклические ароматические углеводороды, в т. ч. бенз(а)пирен (C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>), а также пятиокись ванадия (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Последние два соединения относятся к классу чрезвычайно опасных.

Диоксид (SO<sub>2</sub>) и триоксид (SO<sub>3</sub>) серы являются главными компонентами загрязнения природной среды при сжигании топлива.

Помимо горения некоторые процессы цветной металлургии, особенно те, которые связаны с обжигом серосодержащих руд, могут явиться источниками продуктов окисления. В химической промышленности в их число входят сжигание серы или обжиг пирита с последующим каталитическим окислением диоксида серы в триоксид – одна из основных стадий производства серной кислоты.

Оксиды азота образуются в топках при сжигании топлива в виде закиси NO, которая окисляется при высокой температуре и избытке воздуха кислородом до NO<sub>2</sub>.

Диоксид азота обладает в 7 раз большей токсичностью, чем NO. Более 95% от общего количества выброса оксидов азота поступают в атмосферу при сжигании жидкого и газообразного топлива.

*Тепловые электростанции* (ТЭС) следует рассматривать не только как загрязнители атмосферного воздуха оксидами серы, азота и твердыми частицами, но также и элементами-примесями (ЭП), в числе которых имеются весьма токсичные - бериллий, мышьяк, селен, ванадий, кадмий, ртуть, тяжелые металлы и естественные радионуклиды.

Среди химических канцерогенов в выбросах ТЭС ведущее место занимают полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), образующиеся при сжигании топлива и его термической переработке (табл. 1.3).

Таблица 1.3

**Содержание бенз(а)пирена в дымовых газах котлов ТЭС, мкг/100 м<sup>3</sup>**

Топливо	Содержание бенз(а)пирена		
	Минимальное	Максимальное	Наиболее часто встречающееся
Газ	1	4	1-2
Мазут	2	40	10-20
Уголь (перед золоуловителем)	30	140	40-100



*Транспорт* является одним из важнейших источников загрязнения атмосферы. На его долю приходится не менее 55% общей массы газообразных загрязнителей воздуха.

Автотранспорт и другие транспортные средства относятся к мобильным источникам, определяющим общий уровень загрязнения атмосферы городов, причем выброс происходит вблизи органов дыхания человека.

В состав выхлопных газов карбюраторных и дизельных двигателей входит около 200 химических соединений, из которых наиболее токсичны оксиды углерода, азота, углеводороды, в т. ч. полициклические ароматические углеводороды (бенз(а)пирен и др.). При сжигании 1 л бензина в воздух поступает 200-400 мг свинца, входящего в состав антидетонационной присадки. Транспорт является также источником пыли, возникающей от разрушения дорожных покрытий и истирания шин.

К основным загрязняющим атмосферу веществам, которые выбрасывают подвижные источники, относятся оксид углерода (около 70%), углеводороды (примерно 19%) и оксиды азота (около 9%).

Количество вредных веществ, поступающих в атмосферу в составе отработавших газов, зависит от типа двигателя, режима его работы и общего технического состояния автомобиля (табл. 1.4).

Таблица 1.4

**Содержание токсичных веществ в отработавших газах карбюраторных и дизельных двигателей внутреннего сгорания**

Компоненты	Объемная доля компонента в газах			
	Карбюраторных ДВС		Дизельных ДВС	
	в %	на 1000 л топлива, кг	в %	на 1000 л топлива, кг
СО	0,5-12,0	200	0,01-0,5	25
NO <sub>x</sub> (в пересчете на N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	до 0,8	20	до 0,5	36
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	0,2-3,0	25	0,009-0,5	8
Бенз(а)пирен	10-20 мкг/м <sup>3</sup>	до 10 мкг/м <sup>3</sup>	-	-
Сажа	0-0,04 г/м <sup>3</sup>	1	0,01-1,1 г/м <sup>3</sup>	3
Альдегиды	до 0,2 мг/л	-	0,001-0,09 мг/л	-

Несмотря на то, что дизельные двигатели более экономичны, и таких веществ, как СО, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, NO<sub>x</sub>, выбрасывают не более чем бензиновые, они существенно больше выбрасывают дыма (преимущественно несгоревшего

углерода, – сажи), который к тому же обладает неприятным запахом, создаваемым несгоревшими углеводородами. Сажа обладает высокой адсорбционной способностью и может нести на своей поверхности токсические вещества, в том числе и канцерогенные. Кроме того она долгое время может находиться в воздухе во взвешенном состоянии, увеличивая тем самым время воздействия на человека токсических веществ.

Таблица 1.5

**Концентрация оксида углерода и бенз(а)пирена в выхлопных газах бензинового двигателя**

Режим работы	СО, об. %	Бенз(а)пирен, мкг/100 м <sup>3</sup>
Холостой ход	2,5-3	4000
Разгон	2,0-5,0	10 000
Равномерное движение	0,5-1,0	до 4000
Торможение	до 4,5	до 28 000

Наибольшее количество загрязняющих веществ выбрасывается при разгоне автомобиля, особенно при быстром, а также при движении с малой скоростью. Относительная доля (от общей массы выбросов) углеводородов и оксида углерода наиболее высока при торможении и на холостом ходу, доля оксидов азота - при разгоне. При нарушении регулировки карбюратора выбросы СО увеличиваются в 4-5 раз. Максимальный выброс бенз(а)пирена у карбюраторных двигателей выделяется на неустановившихся режимах, при работе на режиме больших нагрузок (табл. 1.5).

*Черная и цветная металлургия.* Кокс является компонентом многих технологических процессов в черной и цветной металлургии.

При размоле угля, загрузке шихты в батареи и выгрузке кокса на коксохимических производствах образуются угольная пыль и сажа. В процессе коксования выделяется газ, содержащий пары углеводородов (смолистых веществ).

Источником выброса твердых частиц в металлургии является производство чугуна и стали. Ваграночная печь – это шахтная противоточная печь. Сверху (в колошник) загружается шихта, состоящая из перемежающихся слоев металлического сырья, кокса и шлакообразующих добавок. Металлическое сырье – это руда, окатыши, выплавленный сырой чугун, литой чугун и стальные отходы (чугунный и металлический лом). В нижнюю часть шахты подается воздух, требуемый для зажигания кокса. В холодно-воздушных вагранках холодный воздух

нагнетается в печь, в большинстве горячевоздушных печей он предварительно нагревается в рекуператорах, где утилизируется теплота горения колошниковых газов и теплота продуктов горения.

В литейном производстве при плавке чугуна происходит выделение серы в процессе сгорания кокса. Диоксид серы выделяется и в сталелитейном производстве при сжигании колошникового газа, нефти и кокса, содержащих серу. Мартеновские печи и кислородные конверторы вследствие высоких температур процесса являются источником оксида азота (табл. 1.6).

Таблица 1.6

### Характеристика атмосферных выбросов металлургических предприятий

Производство	Доля выброса, %			
	Пыль	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Агломерационная фабрика	34,3	82,5	62,5	25,0
Коксовый цех	11,1	0,9	7,5	7,0
Доменный "	1,7	1,6	2,7	-
Конвертерный "	8,3	0,6	0,4	-
Мартеновский "	4,0	0,6	0,2	15,0
Прокатный "	-	3,0	-	8,0
Ремонтный "	1,1	0,2	4,3	-
Транспорт	0,3	0,3	5,0	-
Газовое хозяйство	-	-	7,5	-
Энергетические установки	36,9	7,5	-	40,0

В цветной металлургии источники пыли – печи, сушилки концентратов, дробильно-помольное оборудование. Цветная металлургия является мощным источником газообразных выбросов диоксида серы, оксидов мышьяка, свинца, сурьмы, меди.

В машиностроительном и металлообрабатывающем производстве в литейных, кузнечно-прессовых, модельных и механических цехах выделяется пыль, содержащая оксиды железа, марганца, магния, алюминия, фосфора и ряда других элементов.

Сильно пылящим производством является приготовление формовочных смесей. Химический состав выделяющихся при сварке загрязнений зависит в основном от состава сварочных материалов (проволоки, покрытий, флюсов). Пыль может содержать Mo, CrO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, фториды, CO, NO<sub>x</sub>, NF.

При газовой резке металлов выделяются токсичные соединения хрома, никеля и марганца, CO и NO<sub>x</sub>.

В гальванических цехах в вентиляционный воздух ванн травления выделяются пары серной, соляной, азотной или плавиковой кислот,

концентрация которых составляет 30-500 мг/м<sup>3</sup>. Особой токсичностью отличаются растворы цианистых солей (при цианистом цинковании), хромовой и азотной кислот.

*Химическое производство.* Из огромного ассортимента веществ и соединений, выпускаемых химическими предприятиями, наиболее важными источниками загрязнения атмосферы как по объему продукции, так и по токсичности являются хлор, оксиды азота, диоксид и триоксид серы, хлористый водород, сероводород, фтористый водород, дисульфид углерода, фтор и его соединения. Из органических соединений: углеводороды и их хлоропроизводные, альдегиды и органические кислоты (табл. 1.7).

Таблица 1.7

**Выбросы загрязняющих веществ в химическом производстве**

Химическое производсво	Загрязняющие вещества
Серной кислоты	Оксиды серы, серная кислота
Азотной кислоты	Оксиды азота
Хлора и гидроксида натрия	Хлор, хлорсодержащие соединения
Суперфосфата	Соединения фтора
Целлюлозы	Гидросульфид, диоксид серы
Очищенной нефти	Оксид углерода, альдегиды, углеводороды, органические кислоты, диоксид серы, диоксид азота

При производстве *строительных материалов* источниками поступления в атмосферу твердых частиц являются цементные заводы, известковые печи, установки по производству магнезита, печи по обжигу кирпича, карьеры, предприятия по выпуску изоляционных материалов, керамические заводы, установки по производству асфальта; оборудование: дробилки, сушилки, мельницы, вращающиеся и шахтные печи для обжига клинкера, охладители клинкера, цементные мельницы, устройства для транспортировки и отгрузки. Состав твердых частиц цементных и известковых заводов – карбонат кальция, оксид кальция, цементный клинкер, шлак, цемент, глина, уголь и др.

Наибольшая часть газообразных продуктов образуется в производстве цемента при обжиге клинкера, однако они редко превышают допустимые значения. При обжиге кирпича могут возникнуть выбросы соединений фтора и диоксида серы, в стекольной промышленности возможны выбросы фтора и оксидов азота.

В результате антропогенного воздействия на атмосферу возникают:

- локальная или региональная загазованность приземного слоя;

- трансграничный перенос загрязнений на значительные расстояния;
- различные глобальные эффекты, такие как «парниковый эффект» и разрушение озонового слоя.

*Парниковый эффект.* Все виды солнечного излучения (от ультрафиолетового до инфракрасного) достигают земной поверхности и нагревают ее. Последняя переизлучает ранее накопившуюся тепловую энергию в виде ИК-излучения в Космос. Переизлученное ИК-излучение интенсивно поглощается некоторыми газами ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ , фреонами). Указанные газы, называемые парниковыми, действуют в атмосфере, как стекло в парнике: они беспрепятственно пропускают к Земле солнечную радиацию, но задерживают тепловое излучение Земли. В результате повышается температура ее поверхности, изменяются погода и климат.

Под парниковым эффектом понимают возможное повышение глобальной температуры планеты в результате изменения теплового баланса, обусловленное постепенным накоплением парниковых газов в атмосфере.

Основным парниковым газом является диоксид углерода. Его вклад в парниковый эффект, по разным данным, составляет от 50 до 65%. К другим парниковым газам относятся метан (около 20%), оксиды азота (примерно 5%), озон, фреоны (хлорфторуглероды) и другие газы (около 10-25% парникового эффекта). Всего известно около 30 парниковых газов.

Вследствие парникового эффекта среднегодовая температура на Земле за последнее столетие повысилась на  $0,3 \div 0,6^\circ\text{C}$ . По разным источникам, удвоение содержания парниковых газов, которое может произойти во второй половине текущего века, вызовет повышение среднегодовой температуры планеты на  $1 \div 3,5^\circ\text{C}$ .

Глобальное потепление климата и обусловленное им повышение уровня Мирового океана многими учеными рассматривается как величайшая катастрофа не только для отдельных экосистем, но и биосферы в целом:

1. В случае повышения уровня океана на 1,5-2 м под затопление попадает около 5 млн  $\text{км}^2$  земель, причем наиболее плодородных и густонаселенных. На них проживает около 1 млрд человек и собирается почти треть урожая многих сельскохозяйственных культур. Вынужденные переселения народов в глубь материков чреваты военными конфликтами и социальными потрясениями.

2. Помимо подъема уровня океана потепление климата будет сопровождаться увеличением степени неустойчивости погоды, смещением границ природных зон, ростом числа штормов и ураганов, ускорением темпов вымирания животных и растений. Следствием этого, очевидно, явится резкое обострение продовольственной проблемы.

3. Уменьшение различий температуры на полюсах и экваторе (в основном за счёт более сильного потепления полюсов) вызовет, в свою очередь, подтаивание вечномёрзлых почв и высвобождение из них огромных количеств метана, что усилит парниковый эффект.

4. Изменение климата может оказать негативное влияние на здоровье людей как вследствие усиления теплового стресса в южных районах, так и из-за распространения многих видов заболеваний.

*Кислотные осадки.* Атмосферные осадки могут выпадать в виде дождя, снега, тумана, росы, т. е. во всех присутствует вода, являющаяся прекрасным растворителем многих примесей. В их состав входят такие анионы и катионы, как  $\text{SO}_2^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ , соотношение которых определяет рН осадков, т. е. их кислотность.

При нормальных условиях чистая дождевая вода содержит растворенный атмосферный диоксид углерода, образующий слабую угольную кислоту (рН = 5,6). Осадки, имеющие показатель рН ниже 5,6, относятся к кислым и называются кислотными дождями.

При сжигании различных видов топлив, а также с выбросами различных предприятий в атмосферу поступает значительное количество оксидов серы и азот. При взаимодействии их с атмосферной влагой образуются азотная и серная кислоты. К ним примешиваются органические кислоты и некоторые соединения, что в сумме дает раствор с кислой реакцией.

Согласно расчетам, доля диоксида серы в образовании кислых осадков составляет около 70%. Появлению кислых осадков способствует также  $\text{CO}_2$ : из-за его постоянного присутствия в атмосфере нормальным является рН осадков 5,6.

В дальнейшем кислоты выпадают на поверхность суши или водоемов. Отмечены случаи выпадения осадков с рН 2,2-2,3, что соответствует кислотности уксуса.

Отрицательное влияние кислых осадков разнообразно: почвы, водные экосистемы, растения, памятники архитектуры, строения и другие объекты в той или иной степени страдают от них.

Действие кислых осадков *на почвы* наиболее ощутимо проявляется в северных и тропических районах. Для первых это связано с тем, что подкисляются и без того кислые (подзолистые и их разновидности) почвы. Они, как правило, не содержат природных соединений, нейтрализующих кислотность (карбонат кальция, доломит и др.). Почвы в тропиках хотя и имеют нейтральную и щелочную реакцию, но также не содержат веществ - нейтрализаторов кислотности (из-за интенсивного и постоянного промывания дождями).

Поступая в почву, кислые осадки увеличивают подвижность и вымывание катионов. При рН, равном 5 и ниже, в почвах резко возрастает растворимость минералов, из них высвобождается алюминий, который в свободной форме ядовит. Кислые осадки также повышают подвижность тяжелых металлов (кадмия, свинца, ртути). В ряде мест кислые осадки и продукты их действия (алюминий, тяжелые металлы, нитраты и др.) проникают в грунтовые воды, а затем в водоемы и водопроводную сеть, где также способствуют высвобождению из труб алюминия и других вредных веществ. В итоге происходит ухудшение качества питьевой воды.

Действие кислых осадков *на водные экосистемы* весьма многообразно. Кислые осадки, попадая в водные источники, повышают кислотность и жесткость воды. При рН ниже 6 сильно подавляется деятельность ферментов, гормонов и других биологически активных веществ, от которых зависит рост и развитие организмов.

Действие кислых осадков и атмосферных загрязнений *на леса* способствует выщелачиванию из растений биогенов (особенно кальция, магния и калия), сахаров, белков, аминокислот. Кислые осадки повреждают защитные ткани, увеличивают вероятность проникновения через них патогенных бактерий и грибов способствуют появлению вспышек численности насекомых.

*Истощение озонового слоя.* В последние годы наблюдается устойчивая тенденция снижения содержания озона в верхних слоях атмосферы. По разным оценкам, в средних и высоких широтах Северного полушария такое уменьшение составило 2-10%.

Наиболее значительная потеря озона регистрируется над Антарктидой, где его содержание в озоновом слое за последние 30 лет уменьшилось на 40-50%. Пространство, в пределах которого регистрируется заметное уменьшение концентрации озона, получило название «озоновой дыры». В настоящее время «озоновая дыра» вышла за пределы континента и по размерам (10 млн км<sup>2</sup>) превышает площадь США.

Крайне опасные для человека и многих животных последствия истощения озонового экрана - увеличение числа заболеваний раком кожи и катарактой глаз. Из-за уменьшения концентрации озона только на 1% происходит увеличение интенсивности УФ-излучения у поверхности Земли на 15%. Помимо ухудшения здоровья истощение озонового слоя способствует усилению «парникового эффекта», снижению урожайности, деградации почв, общему загрязнению окружающей среды, увеличению числа мощных лесных пожаров.

В чем же причина убыли озона из атмосферы? После ряда международных экспедиций в Антарктиду было установлено, что озоновый слой разрушают техногенные загрязнители: оксиды азота NO и NO<sub>2</sub>,

галогенопроизводные углеводородов (фреоны):  $\text{CFC1}_3$  (фреон-11),  $\text{CF}_2\text{C1}_2$  (фреон-12) и другие, кипящие при комнатной температуре, высоколетучие, химически инертные у поверхности Земли.

Основным антропогенным фактором, разрушающим озон, считают фреоны (хладоны), которые широко используются в холодильных установках.

Будучи чрезвычайно инертными, фреоны минуют тропосферу без изменений. Только в стратосфере они подвергаются фотохимическому разложению.

Из других техногенных причин разрушения озонового слоя называют уничтожение лесов, как основных поставщиков кислорода в атмосферу. Зарегистрировано также разрушение озона при ядерных взрывах в атмосфере, крупных пожарах и других явлениях, сопровождающихся поступлением в верхние слои атмосферы оксидов азота и некоторых углеводородов. Установлено также, что уничтожают озон полеты сверхзвуковых самолетов в стратосфере, запуски космических ракет.

Отрицательное влияние загрязнений проявляется многофакторно и на животный мир, и на человека [22]. Так, даже малые концентрации  $\text{SO}_2$  при продолжительном воздействии обуславливают возникновение у человека гастрита, ларингита, бронхита и других болезней. Предполагается связь между содержанием в воздухе  $\text{SO}_2$  и уровнем смертности от рака легких. В присутствии бенз(а)пирена двуокись серы увеличивает частоту появления злокачественных опухолей, так как является канцерогеном. Оксид углерода (CO) инактивирует гемоглобин, обуславливая кислородную недостаточность живых тканей, и вызывает расстройство нервной и сердечно-сосудистой систем, а также способствует развитию атеросклероза. Сероуглерод влияет на нервную систему, приводит к острой интоксикации и атеросклерозу. Сероводород вызывает головную боль, слабость и тошноту и даже в малых концентрациях может обуславливать функциональные расстройства центральной нервной и сердечно-сосудистой систем. Оксиды азота сильно раздражают дыхательные органы, приводя к возникновению в них воспалительных процессов, под их влиянием образуется метгемоглобин, понижается кровяное давление, возникает головокружение, рвота, одышка, возможна потеря сознания. Хлор и его соединения влияют на обоняние, световую чувствительность глаз, нарушают дыхание. Соединения фтора резко раздражают кожу и слизистые оболочки, при их длительном воздействии возможны носовые кровотечения, насморк, кашель, склеротические изменения в легких. Наличие в атмосферном воздухе углеводородов вызывает раздражение дыхательных путей, тошноту, головокружение, сонливость, расстройства дыхания и кровообращения.



## **2 ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОМИНИРУЮЩИХ ВРЕДНОСТЕЙ**

В условиях негативного изменения качественного состава атмосферного воздуха под воздействием антропогенных факторов важнейшей задачей является полный учёт выбросов загрязняющих веществ и оценка их воздействия на окружающую среду. Основной целью инвентаризации выбросов загрязняющих веществ является получение исходных данных для:

- оценки степени влияния выбросов загрязняющих веществ предприятия на окружающую среду (атмосферный воздух);
- установления предельно допустимых норм выбросов загрязняющих веществ в атмосферу как в целом по предприятию, так и по отдельным источникам загрязнения атмосферы;
- оценки состояния пылегазоочистного оборудования предприятия;
- оценки эффективности использования сырьевых ресурсов и утилизации отходов на предприятии;
- планирования воздухоохраных работ на предприятии.

При проведении инвентаризации предприятие обязано учесть все поступающие в атмосферу загрязняющие вещества, которые присутствуют в материальном балансе применяемых технологических процессов, от всех стационарных источников загрязнения (организованных и неорганизованных), имеющих на предприятии, и автотранспорта.

При инвентаризации выбросов загрязняющих веществ должны использоваться непосредственные инструментальные замеры в соответствии с действующими методиками. По каждому источнику замеряется средняя скорость отходящих газов по сечению трубопровода, и отбираются пробы для определения концентраций различных примесей. По этим данным рассчитываются секундные и годовые выбросы вредных веществ в атмосферу (г/с, т/год). В случаях отсутствия инструментальных методик для определения выброса какого-либо вещества допускается применение расчетных отраслевых методик [4].

Работа по проведению инвентаризации должна включать следующие этапы:

1. составляется краткая характеристика предприятия как источника загрязнения атмосферы, описываются основные технологии. Сбор технической информации об источниках выброса вредных веществ в атмосферу предусматривает получение следующих данных:

- высота (H, м) и диаметр (D, м) источника выброса;
- скорость в устье (w, м/с) и объем (V, м<sup>3</sup>/с) выброса;
- температура выброса (T, °C);
- местоположение источника выброса;

- максимальная часовая производительность (мощность) источника выделения и (или) максимальный часовой расход материалов (топлива);
- характеристики материала (топлива);
- время работы оборудования за рабочую смену и за год;
- наличие средств пылегазоочистки и их эффективность.

При этом должны быть определены выделяемые загрязняющие вещества и их источники. При сборе информации необходимо помнить, что расчет максимального секундного выброса вредного вещества ведется для наиболее неблагоприятного режима работы оборудования с периода осреднения 30 минут, соответствующего периоду осреднения максимально разовой предельно допустимой концентрации. С достаточной точностью можно использовать максимальные часовые показатели.

2. систематизируются результаты, составляются отчетные бланки установленных форм [5].

Инвентаризация проводится, как правило, технологическими службами предприятия совместно со специализированными научными или пусконаладочными организациями, имеющими аккредитованные ГК стандартизации и сертификации лаборатории.

Массовый выброс вредных веществ можно определить с большей или меньшей точностью следующими методами: инструментальным, инструментально-лабораторным, индикаторным и расчетным.

*Инструментальный* метод основан на использовании автоматических газоанализаторов, непрерывно измеряющих концентрации примесей в выбросах контролируемых источников.

При использовании *инструментально-лабораторного* метода сначала отбираются пробы отходящих газов от источников загрязнения, а затем они анализируются в лаборатории на соответствующих автоматических и полуавтоматических приборах.

*Индикаторный* метод основан на использовании селективных индикаторных элементов (колористических трубок), изменяющих свою окраску в зависимости от концентрации примеси в отходящих выбросах. Этот метод используется для экспресс-анализа и предварительной оценки концентрации примесей в отходящих газах.

*Расчетный* метод применяется для определения массового выброса загрязняющих веществ по данным о составе исходного сырья и топлива, технологическом режиме, степени очистки газов газопылеочистным оборудованием и т. п. по эмпирическим зависимостям либо по удельным выбросам вредных веществ на единицу произведенной продукции, использованного сырья, топлива, выработанной энергии и т. п. Этот метод целесообразно использовать для предварительной оценки экологичности производства, сравнения его с другими аналогичными производствами при

проведении экологической экспертизы, а также в случае невозможности или экономической нецелесообразности прямых измерений.

Кроме перечисленных иногда используют метод контроля выбросов по результатам анализа фактического загрязнения атмосферы. При этом фактические уровни загрязнения атмосферного воздуха предприятием (предприятиями) в селитебной (жилой) зоне сравниваются с эталонными значениями, полученными расчетным методом в соответствии с ОНД-86. Этот метод целесообразно использовать для контроля работы большого количества мелких объектов, в том числе и неорганизованных источников, рассредоточенных на территории предприятия.

Наиболее точными методами определения загрязнителей в газовойдушных выбросах являются *лабораторные*, однако они требуют зачастую наличия сложного оборудования, определенной квалификации операторов и значительного времени. Все многообразие методов анализа примесей можно разделить на химические и физико-химические. Предпочтение следует отдавать физико-химическим методам, как наиболее точным, быстрым и современным. Описание процессов проведения анализа воздуха на содержание загрязняющих веществ посредством этих методик подробно изложено в литературе [3], [6].

*В курсовой работе студенту предлагается воспользоваться расчётными методиками определения выброса вредных веществ в атмосферу из машинного зала котельной, а также литейного, окрасочного, деревообрабатывающего и электрохимического цехов [4], [23], [24], [25], [26], [27].*

## **2.1 Расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах**

При сжигании твердого, жидкого и газообразного топлива выделяются зола (пыль), оксиды углерода, серы, азота, ванадия. Количество загрязняющих веществ в дымовых газах зависит от вида и состава топлива, конструкции топочных устройств и способа сжигания. Расчеты выделения вредных веществ при горении топлива производят по удельным показателям или балансовым методом. Данные методики позволяют установить количество вредных выделений, определить необходимость установки очистных устройств и их эффективность очистки. В курсовой работе расчеты производятся по удельным показателям.

Необходимо рассчитать количество загрязняющих веществ (твердых веществ, оксида серы, оксида углерода, оксида азота, оксида ванадия) при сжигании твердого или жидкого топлива.

### 2.1.1 Твердые частицы

Расчет выбросов твердых частиц летучей золы, г/с, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегата в единицу времени *при сжигании твердого топлива* выполняется по формуле

$$P_{тв} = 0,01 \cdot B \cdot \left( \alpha_y \cdot A^r + q_y \cdot \frac{Q_i^r}{32,68} \right) \cdot (1 - \eta_y), \quad (2.1)$$

где  $B$  – расход топлива, г/с, принимается по таблице 2.4;

$A^r$  – зольность топлива, %, принимается по таблице 2.1;

$\alpha_y$  – доля золы, уносимой газами из котла (доля золы топлива в уносе), принимается по таблице 2.2;

$q_y$  – потери теплоты с уносом от механической неполноты сгорания топлива, %, принимаются по таблице 2.2;

$Q_i^r$  – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

$\eta_y$  – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях (в зависимости от их типа). На стадии разработки проекта строительства предприятия  $\eta_y = 0$ .

Расчёт выбросов пыли углеродной *при сжигании жидкого топлива*:

$$P_{тв} = 0,01 \cdot B \cdot q_y \cdot \frac{Q_i^r}{32,68} \cdot (1 - \eta_y), \quad (2.2)$$

Таблица 2.1

#### Характеристика топлива

№ варианта	Наименование топлива	Марка	Класс или вид	$W_t^r$	$A^r$	$S_{o+k}^r$	$Q_i^r$ , МДж/кг
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Донецкий б-н	Д	Р	13,0	27,8	2,9	17,25
2	Донецкий б-н	Г	Р	10,0	28,4	3,0	18,92
3	Донецкий б-н	Ж	Р	6,0	30,1	2,5	21,14
4	Донецкий б-н	Т	Р	6,0	32,0	2,2	20,60
5	Донецкий б-н	А	СШ	8,5	34,8	1,5	18,23
6	Кузнецкий б-н	Д	Р, СШ	11,5	15,9	0,4	21,90
7	Кузнецкий б-н	Г	Р, СШ	8,5	16,9	0,4	23,57
8	Кузнецкий б-н	Т	Р, СШ	7,0	14,6	0,5	25,12

продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
9	Кузнецкий б-н	А	Р	10,0	16,2	0,4	24,16
10	Днепровский б-н	1Б	Р	54,0	16,6	1,9	6,38
11	Кизеловский б-н	Ж	Р	6,0	32,0	5,3	19,68
12	Кизеловский б-н	Г	Р, МСШ	7,5	37,9	4,3	16,71
13	Канско-Ачинский б-н, Ирша-Бородинское	2Б	Р	33,0	7,4	0,2	15,28
14	Канско-Ачинский б-н, Назаровское	2Б	Р	39,0	7,9	0,4	12,85
15	Канско-Ачинский б-н, Березовское	2Б	Р	33,0	4,7	0,2	15,66
16	Канско-Ачинский б-н, Боготольское	1Б	-	44,0	6,7	0,5	11,81
17	Канско-Ачинский б-н, Большесырское	3Б	-	24,0	6,1	0,2	19,05
18	Иркутский б-н, Черемховское	Д	Р, МСШ	15,0	29,8	0,9	16,41
19	Иркутский б-н, Азейское	3Б	Р	25,0	16,5	0,5	15,99
20	Партизанский б-н	Г	Р, СШ	5,5	34,0	0,4	19,47
21	Партизанский б-н	Ж	Р	5,5	32,1	0,4	20,52
22	Партизанский б-н	Т	Р	5,0	28,5	0,5	22,19
23	Печорский б-н, Интинское	Д	Р	11,5	28,8	2,5	16,87
24	Печорский б-н, Воркутинское	Ж	Р	8,0	29,4	1,0	20,77
25	Эстон-сланец	сланец	0-300 мм	12,0	44,4	1,4	9,00
26	Ленинград-сланец	сланец	0-300 мм	11,0	48,2	1,3	7,66
27	Кашпирское мес-ие	сланец	0-300 мм	14,0	58,9	2,4	4,60
28	Мазут малозольный	40 или 100	вид I	0,15	0,04	0,4	40,48
29	Мазут малозольный	40 или 100	вид II	0,2	0,04	0,85	40,39
30	Мазут малозольный	40 или 100	вид III	0,36	0,04	1,2	40,21
31	Мазут малозольный	40 или 100	вид IV	0,49	0,04	1,8	40,04
32	Мазут малозольный	40 или 100	вид V	0,74	0,04	2,2	39,92
33	Мазут малозольный	40 или 100	вид VI	1	0,04	2,7	39,64
34	Мазут зольный	40 или 100	вид I	0,2	0,12	0,4	40,63
35	Мазут зольный	40 или 100	вид II	0,3	0,12	0,85	40,43

продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
36	Мазут зольный	40 или 100	вид III	0,5	0,12	1,2	40,16
37	Мазут зольный	40 или 100	вид IV	0,7	0,12	1,8	39,90
38	Мазут зольный	40 или 100	вид V	1	0,12	2,2	39,60
39	Мазут зольный	40 или 100	вид VI	1,0	0,12	2,7	39,32
40	Дизельное топливо		вид I		0,1	0,15	42,71
41	Дизельное топливо		вид II		0,1	0,4	42,44
42	Печное бытовое топливо		вид А		0,02	0,03	42,35
43	Печное бытовое топливо		вид В		0,02	0,04	42,30
44	Печное бытовое топливо		вид С		0,02	0,07	42,25
45	Печное бытовое топливо				0,02	0,4	41,88
46	Брикеты торфяные	Из верхового торфа		15	5	0,1	17,37
47		Из низинного торфа		15	9	0,2	16,59
48		С гречишными из низинного торфа		15	11	0,1	15,39
49		С древесными опилками из низинного торфа		15	6,5	0,1	17,20
50		С лигнином из низинного торфа		20	15	0,4	16,11
51	Торф кусковой верховой			33,0	4	0,1	14,24
52	Торф фрезерный верховой			45,0	5	0,2	15,31
53	Торф фрезерный низинный			45,0	9	0,3	15,45
54	Отходы древесные для топливных нужд	Кора, кородревесные остатки		40	3,5	0,1	11,56
55		Щепа из малоплотной древесины		40	3	0,1	11,68
56		Щепа из среднеплотной древесины		40	3	0,1	11,48
57		Древесные отходы, обрезки		40	0,6	0,05	10,90
58	Топливо энергетическое из быстрорастущей древесины для топливных нужд			40	2,7	0	10,55
59	Древесина дровяная для топливных нужд	Хвойные		40	0,6	0,05	10,01
60		Лиственные малоплотные		40	0,6	0,05	10,22

окончание таблицы 2.1						
1	2	3	4	5	6	7
61		Лиственные среднеплотные	40	0,6	0,05	10,47
62		Смешанные	40	0,6	0,05	10,22
63	Древесные стружки, опилки для топливных нужд		40	0,6	0,05	10,32
64	Костра для топливных нужд		15	2,5	0,15	14,49
65	Деревянные шпалы для топливных нужд		30	1,2	0,15	9,9

Примечание: Д – длиннопламенный, Г – газовый, Ж – жирный, Т – тощий, А – антрациты, 1Б – бурый с влагоемкостью более 50%, 2Б – бурый с влагоемкостью от 30 до 50%, 3Б – бурый с влагоемкостью до 30%

Таблица 2.2

**Значения  $q_4$ ,  $a_y$ ,  $q_y$  для различных топок и топлив**

Вид топок	Топливо	$q_4$ , %	$a_y$	$q_y$
Топки с пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой прямого хода	Каменные угли типа Донецкого	6,5	0,17	5,5
	Каменные угли типа Кузнецкого	4,0	0,20	3,0
	Донецкий антрацит	11,0	0,10	8,5
	Кузнецкий антрацит	9,5	0,10	4,0
Топки с пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой обратного хода	Каменные угли типа Донецкого	7,0	0,15	4,0
	Каменные угли типа Кузнецкого	6,5	0,15	4,0
	Бурые угли типа Азейского	7,5	0,15	4,5
	Бурые угли типа Артемовского	5,5	0,19	2,5
	Бурые угли типа Подмосковского	7,0	0,11	2,5
	Бурые угли типа Ирша- Бородинского	4,5	0,50	2,0
	Бурые угли типа Назаровского	5,0	0,50	2,0
Топки с пневмомеханическими забрасывателями и решеткой с поворотными колосниками	Каменные угли типа Донецкого	8,0	0,15	6,0
	Каменные угли типа Кузнецкого	6,5	0,20	5,5
	Бурые угли типа Ирша- Бородинского	5,0	0,20	3,0
	Бурые угли типа Азейского	6,5	0,20	3,0
Камерные топки с твердым шлакоудалением	Каменные угли	1,5	0,95	1,0
	Бурые угли	2,0	0,95	1,5
	Фрезерный торф	2,5	0,95	1,0
	Сланец	0,5	0,95	0,2
Камерные топки с жидким шлакоудалением	Каменные угли	0,5	0,8	0,2
	Бурые угли	0,3	0,7	0,1
	Мазут, нефть	0,1	0,05	0,02

	Дизельное, печное бытовое	0,08	0,045	0,02
Топки шахтные, шахтно-цепные, скоростного горения	Торф кусковой, фрезерный верховой	2,5	0,08	1,5
	Торф фрезерный низинный	4,5	0,08	2,0
	Торфяные брикеты из верхового торфа	3,0	0,06	1,5
	Торфяные брикеты из низинного торфа (с гречишными, с древесными опилками)	5,0	0,06	2,0
	Торфяные брикеты с лигнином из низинного торфа	7,0	0,10	2,0
	Щепа, кородревесные остатки	4,0	0,15	2,5
	Дрова	4,0	0,2	1,0
	Древесные отходы, обрезки	4,0	0,2	1,2
	Опилки, стружки	1,5	0,2	0,7
	Костра, солома	2,0	0,25	0,5
	Лигнинные брикеты	6,0	0,10	2,5
	Лигнин исправленный	7,0	0,15	2,5
	Слоевые топки бытовых теплогенераторов	Дрова	2,5	0,025

### 2.1.2 Оксиды серы

Оксиды серы (примерно 5%) окисляются до  $SO_3$  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.

Расчет выбросов оксидов серы в пересчете на  $SO_2$ , г/с, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегатов выполняется по формуле

$$P_{SO_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^r \cdot (1 - \eta_{s1}) \cdot (1 - \eta_{s2}), \quad (2.3)$$

где  $B$  – расход твердого или жидкого топлива, г/с;

$S^r$  – содержание серы в топливе, %, принимается по таблице 2.1;

$\eta_{s1}$  – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива.

Принимается равным для топлив:

торф	0,25
лигнин	0,27
сланцы эстонские и ленинградские	0,8
бурый уголь марки 1Б	0,2



бурый уголь марки 2Б	0,5
бурый уголь марки 3Б	0,65
каменный уголь марки Д	0,1
каменный уголь марки Г	0,08
каменный уголь марки Ж	0,16
каменный уголь марки Т	0,14
каменный уголь марки А (антрацит)	0,12
дрова	0,69
древесные отходы, обрезки	0,63
щепа, кородревесные остатки	0,58
опилки, стружки, костра, солома	0,55
мазут	0,02

$\eta_{s2}$  – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе. Для сухих золоуловителей (электрофильтров, батарейных циклонов) принимается равной нулю, для мокрых – в зависимости от щелочности орошающей воды (определяется по рис. 2.1).

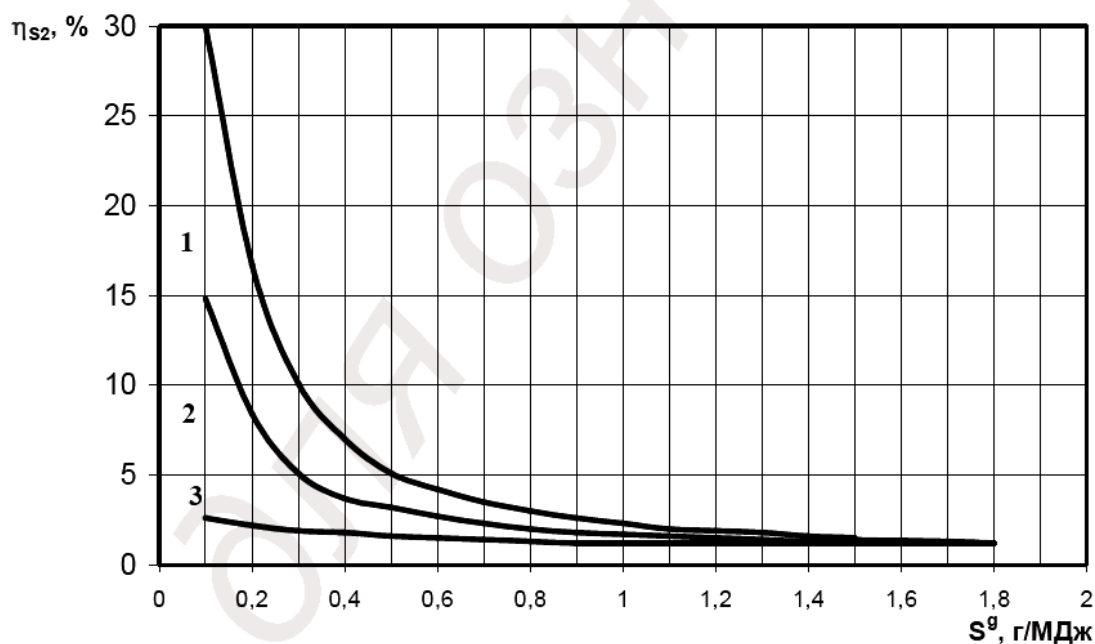


Рисунок 2.1. Степень улавливания оксидов серы в мокрых золоуловителях  $\eta_{s2}$  при щелочности орошаемой воды:

1 – менее 10 мг-экв/л; 2 – до 5 мг-экв/л; 3 – 0 мг-экв/л;

$S^g$  – приведенная сернистость топлива

Величина приведенной сернистости определяется по формуле

$$S^g = \frac{10 \cdot S^r}{Q_i^r} \quad (2.4)$$

### 2.1.3 Оксид углерода

Расчет выбросов оксида углерода, г/с, выполняется по формуле

$$P_{CO} = 0,001 \cdot C_{CO} \cdot B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \quad (2.5)$$

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q_i^r, \quad (2.6)$$

где  $C_{CO}$  – выход оксида углерода при сжигании топлива, г/кг;

$B$  – расход твердого или жидкого топлива, г/с;

$q_3, q_4$  – потери теплоты вследствие химической и механической неполноты сгорания топлива, %, принимаются соответственно по таблицам 2.3 и 2.2;

$R$  – коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленной наличием в продуктах сгорания оксида углерода. Для твердого топлива = 1, для жидкого топлива 0,65;

$Q_i^r$  – низшая теплота сгорания топлива, (МДж/кг, МДж/м<sup>3</sup>).

Таблица 2.3

Потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива  $q_3$ , %

Номинальная тепловая мощность котла, МВт	При сжигании жидкого топлива	При сжигании твердого топлива
до 0,3 включ.	0,4	0,9
св. 0,3 до 2 «	0,3	0,7
« 2 « 10 «	0,2	0,5
« 10 « 25 «	0,1	0,3

### 2.1.4 Оксиды азота

Количество оксидов азота (в пересчете на NO<sub>2</sub>) при сжигании твердого топлива, г/с, рассчитывается по формуле

$$P_{NO_2} = 0,001 \cdot B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot Q_i^r \cdot K_{NO_2}^T \cdot \beta_p \cdot 0,8, \quad (2.7)$$

где  $K_{NO_2}^T$  – удельный выброс азота оксидов при сжигании твердого топлива (г/МДж)

$$K_{NO_2}^T = 0,001 \cdot H_T \cdot a_T \cdot \sqrt{0,001 \cdot B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot (Q_i^r)^3}, \quad (2.8)$$

где  $H_T$  – характеристика топлива, при сжигании различных топлив равна:

уголь	16,5
лигнин, торф	15,4
опилки, стружки, дрова	14,3
отходы древесные	13,2
костра, солома, сланцы	12,1

$a_T$  – коэффициент избытка воздуха в топке, принимаемый для котлов мощностью:

до 0,3 МВт включ.	3,0
св. 0,3 до 2 МВт включ.	2,5
св. 2 до 10 МВт включ.	2,0
св. 10 до 25 МВт включ.	1,5

$B$  – расход твердого топлива, г/с;

$Q_i^r$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

$\beta_p$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов, подаваемых в смеси с дутьевым воздухом под колосниковую решетку, на образование азота оксидов. Для котлов, не оснащённых системой рециркуляции  $\beta_p = 1$ .

Количество оксидов азота (в пересчете на  $NO_2$ ) при сжигании жидкого топлива, г/с, рассчитывается по формуле

$$P_{NO_2} = 0,001 \cdot B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot Q_i^r \cdot K_{NO_2}^{\mathcal{K}} \cdot \beta_{\kappa} \cdot \beta_p \cdot \beta_{\delta} \cdot 0,8, \quad (2.9)$$

где  $K_{NO_2}^{\mathcal{K}}$  – удельный выброс азота оксидов при сжигании жидкого топлива (г/МДж). Для паровых котлов определяется:

$$K_{NO_2}^{\mathcal{K}} = 0,01 \cdot \sqrt{0,00159 \cdot B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot Q_i^r} + 0,09, \quad (2.10)$$

$B$  – расход жидкого топлива, г/с;

$Q_i^r$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

$\beta_k$  – безразмерный коэффициент, учитывающий конструкцию горелки. При работе на жидком топливе и для дутьевых горелок напорного типа (при наличии дутьевого вентилятора)  $\beta_k=1,0$ . Для горелок инжекционного типа  $\beta_k=1,6$ . Для горелок двухступенчатого сжигания  $\beta_k = 0,7$ ;

$\beta_\delta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру. Для котлов, не оснащённых системой рециркуляции  $\beta_\delta = 1$ .

### 2.1.5 Оксиды ванадия

Расчет выбросов мазутной золы в пересчете на пятиокись ванадия, г/с, выполняется по формуле

$$P_{V_2O_5} = 10^{-6} \cdot G_{V_2O_5} \cdot B \cdot (1-h_0) \cdot (1-h_y), \quad (2.11)$$

где  $G_{V_2O_5}$  – содержание оксидов ванадия в жидком топливе в пересчете на пятиокись ванадия, г/т;

$h_0$  – коэффициент оседания оксидов ванадия на поверхностях нагрева котлов. Для котлов с промежуточными пароперегревателями, очистка поверхностей нагрева которых производится в остановленном состоянии,  $h_0=0,07$ ; для котлов без промежуточных пароперегревателей при тех же условиях очистки  $h_0=0,05$ ; для остальных случаев  $h_0=0$ ;

$h_y$  – доля твердых частиц продуктов сгорания жидкого топлива, улавливаемых в устройствах для очистки дымовых газов мазутных котлов. На стадии разработки проекта строительства предприятия  $h_y = 0$ .

При отсутствии результатов анализа топлива содержание оксида ванадия  $G_{V_2O_5}$  в мазуте определяется ориентировочно по формуле

$$G_{V_2O_5} = \frac{4000 \cdot A^r}{1,8} \quad (2.12)$$

где  $A^r$  – зольность, %.

Таблица 2.4

### Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Расход топлива <i>B</i> , г/с	56	62	46	42	44	145	113	120	88	52	67	36	73
Тепловая мощность котлоагрегата, <i>МВт</i>	1,7	14,4	9,7	2,6	5,3	11,8	3,9	9,6	20,8	2,4	0,6	15,0	11,8

Вариант	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Расход топлива <i>B</i> , г/с	89	41	50	35	125	42	52	95	132	50	98	117	38
Тепловая мощность котлоагрегата, <i>МВт</i>	2,3	0,8	20,4	1,5	4,6	15,3	4,8	18,9	0,9	21,0	14,3	2,8	23,4

Вариант	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Расход топлива <i>B</i> , г/с	84	108	35	94	51	77	90	20	59	102	116	78	26
Тепловая мощность котлоагрегата, <i>МВт</i>	6,3	19,3	2,4	8,5	7,6	12,7	0,4	15,9	3,1	12,1	7,2	14,5	2,5

Вариант	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Расход топлива <i>B</i> , г/с	33	73	86	59	26	67	90	21	55	64	89	75	37
Тепловая мощность котлоагрегата, <i>МВт</i>	10,4	0,5	11,0	2,4	10,7	0,8	14,1	0,7	11,3	1,0	10,9	16,7	1,8

Вариант	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Расход топлива <i>B</i> , г/с	95	49	71	72	27	34	79	75	92	85	97	78	64
Тепловая мощность котлоагрегата, <i>МВт</i>	8,2	7,3	12,4	8,5	1,3	5,7	16,8	0,9	6,0	16,1	3,2	6,3	2,8

Общее время работы котлов за год на заданном виде топлива составляет 365 календарных дней по 24 часа в сутки. Коэффициент загрузки котлов принять равным 0,85.

## 2.2 Расчет выбросов загрязняющих веществ от машиностроительных предприятий. Литейные цеха

Необходимо рассчитать выделение вредных веществ (пыли, сернистого ангидрида, оксида углерода и т.д.) при выплавке чугуна и стали.

В качестве плавильных агрегатов используются в основном вагранки открытого и закрытого типа, дуговые и индукционные печи. Расчет выбросов вредных веществ, (г/с), производится для каждого источника по каждому веществу по формуле

$$P = 0,278 \cdot q \cdot D \cdot \beta \cdot (1 - \eta), \quad (2.13)$$

где  $q$  – удельное выделение вещества на единицу продукции, кг/т, принимается по табл. 2.5 и 2.6;

$D$  – расчетная производительность агрегата, т/ч, (таблица 2.8);

$\beta$  – поправочный коэффициент для учета условий плавки, принимается по табл. 2.7;

$\eta$  – эффективность средств по снижению выбросов. На стадии разработки проекта строительства предприятия  $\eta = 0$ .

Таблица 2.5

### Удельное выделение загрязняющих веществ $q$ , кг/т, при плавке чугуна

Производительность вагранки, т/ч	Зола летучая	Оксид углерода	Сернистый ангидрид	Углеводороды (смолы)	Диоксид азота
1	2	3	4	5	6
2	20	200	1,5	2,60	0,014
3	20	200	1,4	2,40	0,014
4	20	200	1,4	2,30	0,012
5	20	185	1,4	2,20	0,013
7	19	200	1,5	2,40	0,014
10	19	180	1,4	2,20	0,014
12	18	180	1,4	2,15	0,012
15	17	180	1,3	2,10	0,012
20	18	190	1,5	2,30	0,014
25	19	200	1,4	2,40	0,014

Технология литейного производства характеризуется большим количеством операций, которые сопровождаются выделением пыли, оксида углерода, сернистого ангидрида, диоксида азота, углеводородов.

При выпуске 1 т чугуна из вагранок в ковши в атмосферу цеха выделяется около 125-130 г оксида углерода, 18-22 г графитной пыли, удаляемых через фонарные проемы или через системы общеобменной вентиляции. При разливе чугуна в формы в атмосферу цеха выделяется оксид углерода. Это дополнительное выделение загрязняющих веществ необходимо учитывать как неорганизованные выбросы.

Таблица 2.6

**Удельное выделение загрязняющих веществ  $q$ , кг/т, из электродуговых печей при выплавке стали**

Ёмкость печи, т	Выплавка стали			
	производительность печи, т/ч	$q$ , кг/т		
		зола летучая	оксид углерода	диоксид азота
1	2	3	4	5
0,5	0,33	9,9	1,4	0,27
1,5	0,94	9,8	1,2	0,26
3,0	1,56	9,5	1,3	0,26
5,0	2,0	9,4	1,3	0,26
6,0	2,7	9,2	1,4	0,27
10,0	3,0	8,8	1,4	0,27
12,0	4,2	8,7	1,5	0,29
20,0	5,9	8,1	1,5	0,29
25,0	6,2	7,6	1,5	0,29
40,0	10,6	7,0	1,5	0,29
50,0	11,4	6,9	1,4	0,28
100,0	21,0	6,6	1,5	0,29

Таблица 2.7

**Значения поправочного коэффициента  $\beta$**

№ п/п	Условия плавки	Для стали	Для чугуна
1	2	3	4
1	Кислый процесс	1,00	1,00
2	Основной процесс	0,80	0,67
3	Применение кислорода	1,15	1,10
4	Плавка легированной стали	0,85	1,15
5	Предварительный нагрев шихты до 400°С	0,90	1,22

Кроме веществ, перечисленных в табл. 2.6, в выбросах присутствуют оксиды серы - 1,6 г/т, цианиды - 28,4 г/т, фториды - 0,56 г/т. При плавке нержавеющей, жаропрочных и кислотоупорных сталей удельные показатели выделения пыли в отходящих газах (табл. 2.6) следует увеличить в 1,4 - 1,5 раза.

При работе плавильных агрегатов, кроме организованных, нужно учитывать неорганизованные выделения за счет неплотностей технологического оборудования и при выполнении некоторых операций технологического процесса (например, при выпуске расплавленного металла в изложницы, ковши и др.). Они составляют в среднем 40% массы веществ, выделяемых плавильными агрегатами. Поэтому для оценки общего количества организованных и неорганизованных выбросов в расчетную формулу вводят коэффициент 1,4.

Таблица 2.8

#### Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ёмкость печи, т	0,5	1,5	3,0	5	6	10	12	20	25	40
Производительность вагранки D, т/ч	2	15	3	25	4	20	5	7	10	12
Условия плавки	1	2	4	5	3	2	5	1	4	2

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ёмкость печи, т	6	10	12	3,0	5	20	0,5	1,5	25	40
Производительность вагранки D, т/ч	25	4	20	5	10	12	2	15	3	7
Условия плавки	3	2	1	5	4	1	2	5	3	4

Общее время работы плавильных агрегатов за год составляет 255 календарных дней по 8 часов в сутки. Коэффициент равномерности работы агрегатов принять равным 0,85.

#### Выбросы тяжёлых металлов

Выброс тяжелых металлов расчетным методом оценивается для следующих источников выбросов:

- топливосжигающие установки: котлы, печи, камины, стационарные дизельные двигатели и другие;
- установки по выплавке черных и цветных металлов: электродуговые, индукционные, отражательные и другие печи, вагранки;



- печи в производстве строительных материалов (вращающиеся печи по производству клинкера, стекловаренные печи, печи для обжига кирпича и керамики), включая цементные мельницы;
- установки по сжиганию отходов;
- печи кремации.

Выбросы тяжелых металлов при сжигании топлива зависят от вида топлива, исходного содержания тяжелых металлов в топливе, условий его сжигания (типа и мощности установки, условий горения), системы очистки отходящих газов.

Максимальный выброс  $i$ -го тяжелого металла  $E_i$  (г/с) при сжигании топлива в топливосжигающей установке на основании содержания тяжелых металлов в топливе рассчитывается по формуле:

$$E_i = \left( B_j \cdot C_{ij} - \frac{B_j \cdot C_{ij} \cdot (1 - a_y)}{(1 - a_y) + f_{ei} \cdot a_y} \cdot R_i \cdot (1 - h_y) + B_j \cdot C_{ij} \cdot (1 - R_i) \right) \cdot 10^{-6}, \quad (2.14)$$

где  $B_j$  – расход топлива  $j$  в топливосжигающей установке, г/с, принимается по таблице 2.4;

$C_{ij}$  – содержание  $i$ -го тяжелого металла в топливе  $j$ , г/т, принимается по таблице 2.9;

$a_y$  – то же, что в формуле (2.1);

$f_{ei}$  – коэффициент обогащения летучей золы (золы уноса) тяжелым металлом  $i$ , определяемый по таблице 2.10.

$R_i$  – доля  $i$ -го тяжелого металла, переходящего в золу, определяемая по таблице 2.10;

$h_y$  – то же, что в формуле (2.1).

Таблица 2.9

**Среднее содержание тяжелых металлов в топливе, г/т**

Тип топлива	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Уголь каменный и бурый, среднее	20,0	0,25	8,3	9,3	0,2	9,2	7,1	36,2
Уголь, содержание по бассейнам								
Донецкий (Украина)	80,0	0,3	15,0	10,0	0,78	20,0	10,0	20,0
Донецкий (Россия)	4,6	0,8	н.д.	50,0	0,75	44,0	35,5	67,0
Канско-Ачинский	н.д.	1,5	н.д.	1,6	н.д.	1,5	1,0	15,0

Кузнецкий	1,43	н.д.	26,0	14,6	0,1	15,3	8,0	29,5
Печорский	4,6	н.д.	28,9	17,6	0,05	18,7	4,2	25,0
Подмосковный	н.д.	0,87	40,5	18,4	0,24	9,6	10,9	56,9
Силезский (Польша)	н.д.	0,7	н.д.	58,0	н.д.	18,0	28,0	61,0
Челябинский	н.д.	н.д.	25,4	31,0	0,006	14,7	5,0	73,0
Экибастузский	н.д.	н.д.	н.д.	21,8	0,09	11,0	14,0	181,0
Горючие сланцы	н.д.	н.д.	50,0	10,0	0,05	30,0	30,0	10,0
Мазут	0,03	0,07	0,50	0,38	0,05	47,0	1,33	1,7
Торф фрезерный	3,8	0,14	1,7	1,6	0,08	0,7	1,1	11,0
Торфяные брикеты	5,0	0,19	2,3	2,1	0,1	0,9	1,5	14,5
Дрова топливные, древесные отходы	0,05	0,08	0,31	1,59	0,01	0,62	0,41	6,5

Таблица 2.10

**Доля перехода тяжелых металлов в золу ( $R_i$ ) и коэффициент обогащения тяжелыми металлами летучей золы ( $f_{ei}$ ) при сжигании твердого топлива**

Показатель	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
$R_i$	1	1	1	1	0,5	1	1	1
$f_{ei}$	2,5	2,5	1,5	1,5	1	1,5	2,5	2,5

Максимальный выброс  $i$ -го тяжелого металла  $E_i$  (г/с) от технологического оборудования (установок по выплавке металлов, печей обжига при производстве строительных материалов, цементных мельниц, стекловаренных печей) рассчитывается:

$$E_i = \frac{P_n \cdot C_i}{1 - r_i} \cdot 10^{-6}, \quad (2.15)$$

где  $P_n$  – фактические выбросы твердых веществ (пыли) от данной установки, г/с, полученные расчетным методом в соответствии с п.2.2; учитываются выбросы твердых частиц суммарно (код 2902), пыли неорганической  $SiO_2 < 70\%$  (код 2908) и других загрязняющих веществ, имеющих твердое агрегатное состояние;

$C_i$  – содержание  $i$ -го тяжелого металла в выбросах твердых веществ, г/т; определяется по таблице 2.11;

$r_i$  – доля  $i$ -го тяжелого металла, выбрасываемая в парогазовой форме; значения принимаются равными 0,5 для ртути, 0 – для других металлов.

Таблица 2.11

**Среднее содержание тяжелых металлов в выбросах твердых веществ от различных установок, г/т**

Процесс	Установка	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Выплавка чугуна	Вагранки открытые	25	15	100	700	8	100	750	6500
	Индукционные печи	10	20	100	1500	10	1580	850	15000
	Вибрационные решетки	3,5	0,8	150	150	0,06	35	17,6	235
	Дробеметные камеры	20	2,0	100	1010	0,01	800	20	65,0
	Наждачные станки	30	3,5	100	2300	0,06	775	55	250
Выплавка стали	Электродуговые печи	35	930	150	2000	5,0	175	7500	125000

**2.3 Расчет выбросов загрязняющих веществ от машиностроительных предприятий. Участки нанесения лакокрасочного покрытия**

На окрасочных участках проводится как подготовительная работа – приготовление краски и поверхностей к окраске, так и само нанесение краски и сушка. Окраска и сушка осуществляется как в специальных камерах, так и просто в помещении окрасочного участка. В процессе выполнения этих работ выделяются загрязняющие вещества в виде паров растворителей и аэрозоля краски. Количество выделяемых загрязняющих веществ зависит от применяемых окрасочных материалов, методов окраски и эффективности работы очистных устройств.

Расчет выделения загрязняющих веществ на окрасочном участке следует вести отдельно для каждой марки краски и растворителя.

В качестве исходных данных для расчета выделения загрязняющих веществ при различных способах нанесения лакокрасочного покрытия принимают: фактический или плановый расход окрасочного материала,

долю содержания в нем растворителя, долю компонентов лакокрасочного материала выделяющихся из него в процессе окраски и сушки. Тип распыления принять по последней цифре варианта по таблице 2.12.

Максимально разовое количество загрязняющих веществ, г/с, выделяющихся при нанесении лакокрасочного материала на поверхность, определяется по формулам

– в виде аэрозоля краски

$$П_{ок}^a = \frac{m_k \cdot \delta_a \cdot f_1}{8 \cdot 3600 \cdot n \cdot 10}, \quad (2.16)$$

где  $m_k$  – расход краски, используемой для покрытия, кг/год, (табл. 2.15);

$\delta_a$  – доля краски, потерянной в виде аэрозоля, % (табл. 2.12);

$f_1$  – доля сухой части краски, % (табл. 2.13);

8 – число часов работы цеха в день;

$n$  – количество дней работы цеха в год.

– в виде паров (если окраска и сушка проводятся в одном помещении)

$$П_{ок}^{пар} = \frac{(m_k \cdot f_{pk}^i \cdot f_2 \cdot 10^{-2} + m_p \cdot f_{pp}^i) \cdot \delta_p'}{8 \cdot 3600 \cdot n \cdot 10}, \quad (2.17)$$

где  $f_{pk}^i$  – количество  $i$ -го летучего компонента в составе краски (грунтовки, шпатлевки), % (табл. 2.13);

$f_2$  – доля летучей части краски, % (табл. 2.13);

$m_p$  – количество израсходованного растворителя, применяемого для разбавления красок, кг/год (табл. 2.15);

$f_{pp}^i$  – количество  $i$ -го летучего компонента в составе растворителя, % (табл. 2.14);

$\delta_p'$  – доля растворителя, выделившегося при нанесении лакокрасочного покрытия, % (табл. 2.12);

8 – число часов работы цеха в день;

$n$  – количество дней работы цеха в год.

Количество загрязняющих веществ, г/с, выделившихся в процессе сушки окрашенных изделий:

$$П_c^{пар} = \frac{(m_k \cdot f_{pk}^i \cdot f_2 \cdot 10^{-2} + m_p \cdot f_{pp}^i) \cdot \delta_p''}{8 \cdot 3600 \cdot n \cdot 10}, \quad (2.18)$$

где  $\delta_p''$  – доля растворителя, выделившегося при сушке лакокрасочного покрытия, % (табл. 2.12).

Максимальный и валовый выбросы загрязняющего вещества, содержащегося в данной краске, следует считать по формулам (2.17) и (2.18) для каждого вредного вещества отдельно.

Таблица 2.12

### Выделения загрязняющих веществ при нанесении лакокрасочных покрытий

Последняя цифра варианта	Способ окраски	Аэрозоли (% от производительности при окраске)	Пары растворителя (% от общего содержания растворителя в краске)	
		при окраске $\delta_a$	при окраске $\delta_p'$	при сушке $\delta_p''$
1	2	3	4	5
	<u>Распыление:</u>			
1	- пневматическое	30	25	75
2	- безвоздушное	2,5	23	77
3	- пневмоэлектрическое	3,5	20	80
4	- электростатическое	0,3	50	50
5	- горячее	20	22	78
6	<u>Электроосаждение</u>	—	10	90
7	<u>Окунание</u>	—	28	72
8	<u>Струйный облив</u>	—	35	65
	Покрытие лаком в лаконаливных машинах			
9	- металлических изделий	—	60	40
0	- деревянных изделий	—	80	20

При нахождении массы паров, поступающих в местные отсосы, необходимо учитывать тот факт, что определенная их часть (2 – 3 % при отсосе, работающем в паспортном режиме) через неплотности укрытий, транспортирующие трубопроводы и проемы, поступает в производственные помещения и удаляется через фонарные проемы или системами общеобменной вентиляции.

Таблица 2.13

Компоненты  $f_{рк}$ , входящие в состав лакокрасочных материалов, %

Вариант	Марки лакокрасочных материалов	Компоненты (летучая часть) $f_{рк}$ , входящие в состав лакокрасочных материалов, %													Доля летучей части, % ( $f_2$ )	Доля сухой части, % ( $f_1$ )
		ацетон	нефрас	бутиловый спирт	бутилацетат	ксилол	уайт-спирит	толуол	этиловый спирт	2-этоксигэтанол	этилацетат	сольвент	изобутиловый спирт	бензин; циклогексанон*		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Эмаль АС-182	-	-	-	-	85,00	5,00	-	-	-	-	10,00	-	-	47	53
2	МЛ-12	-	-	20,78	-	-	20,14	-	-	1,40	-	57,68	-	-	65	35
3	МЛ-152	-	-	20,85	-	39,76	13,0	-	-	-	-	14,07	9,59	2,73	52	48
4	МЛ-197	-	39,22	41,42	8,42	-	2,01	-	-	8,93	-	-	-	-	49	51
5	НЦ-11	-	-	10,00	25,0	-	-	25,0	15,0	-	25,0	-	-	-	74,5	25,5
6	НЦ-132П	8,0	-	15,00	8,0	-	-	41,0	20,0	8,00	-	-	-	-	80	20
7	ХВ-124	26,0	-	-	12,0	-	-	62	-	-	-	-	-	-	27	73
8	Лаки БТ-99	-	-	-	-	96,00	4,00	-	-	-	-	-	-	-	56	44
9	БТ-577	-	-	-	-	57,40	42,60	-	-	-	-	-	-	-	63	37
10	МЛ-92	-	-	10,0	-	40,00	40,00	-	-	-	-	-	10,0	-	47,5	52,5
11	НЦ-218	-	-	9,0	9,0	23,50	-	23,50	16,0	3,0	16,0	-	-	-	70	30
12	НЦ-221	5,05	-	19,98	15,04	-	-	39,95	6,99	3,0	9,99	-	-	-	83,1	16,9
13	НЦ-222	-	-	9,49	9,23	-	-	46,54	15,64	3,2	15,9	-	-	-	78	22
14	НЦ-243	-	-	20,0	-	-	-	50,0	10,00	8,0	7,0	-	-	5*	74	26
15	Грунтовки АК-070	20,04	-	12,60	-	67,36	-	-	-	-	-	-	-	-	86	14
16	ВЛ-02	28,20	-	28,20	-	6,0	-	-	37,60	-	-	-	-	-	79	21
17	ВЛ-023	22,78	-	24,06	3,17	-	-	1,28	48,71	-	-	-	-	-	74	26
18	НЦ-0140	-	-	15,00	20,00	-	-	20,00	10,00	15,0	15,0	-	-	5*	80	20
19	МЛ-029	-	-	42,62	-	57,38	-	-	-	-	-	-	-	-	40	60
20	ХС-010	26,0	-	-	12,00	-	-	62,00	-	-	-	-	-	-	67	33

Таблица 2.14

Компоненты  $f_{рр}$ , входящие в состав растворителей, %

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Компоненты	Р-4	Р-5	Р-6	Р-7	Р-12	Р-24	Р-40	Р-189	РЛ-176	РЛ-278
Ацетон	26	30	-	-	-	15	-	-	-	-
Бензол	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-
Бутилацетат	12	30	15	-	30	-	-	13	-	20
Бутиловый спирт	-	-	15	-	-	-	-	-	-	30
Ксилол	-	40	-	-	10	35	-	13	50	-
Метилэтилкетон	-	-	-	-	-	-	-	37	-	25
Сольвент нефтя	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-
Толуол	62	-	-	-	60	-	50	-	50	-
Циклогексанон	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-
Этилглицоляцетат	-	-	-	-	-	-	-	37	-	15
Этиловый спирт	-	-	30	50	-	-	-	-	-	10
Этилцеллозольв	-	-	-	-	-	-	50	-	9	10

Вариант	11	12	13	14
Компоненты	РЛ-298	РФГ	РС-2	№645
Ацетон	-	-	-	3
Бутилацетат	-	-	-	18
Бутиловый спирт	-	75	-	10
Ксилол	70	-	30	-
Толуол	-	-	-	50
Уайт-спирит	-	-	70	-
Этилацетат	-	-	-	9
Этиловый спирт	-	25	-	10
Этилцеллозольв	30	-	-	-

Вариант	15	16	17	18	19	20
Компоненты	№ 646	№ 647	№ 648	РМЛ	РМЛ-218	РМЛ-315
Ацетон	7	-	-	-	-	-
Бутилацетат	10	29,8	50	-	9	18
Бутиловый спирт	15	-	20	10	9	15
Ксилол	-	-	-	-	23,5	25
Толуол	50	41,3	20	10	23,5	25
Этилацетат	-	21,2	-	-	16	-
Этиловый спирт	10	7,7	10	64	16	-
Этилцеллозольв	8	-	-	16	3	17

Таблица 2.15

### Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расход краски, кг/год	1500	2000	5500	4000	7200	4500	5000	8000	5600	4800
Расход растворителя, кг/год	720	1340	4670	2150	5920	2760	3880	4640	3130	2790
Количество дней работы цеха	205	240	235	250	215	220	243	250	205	230

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Расход краски, кг/год	1200	5900	4400	3000	6700	5300	4100	6500	2500	9000
Расход растворителя, кг/год	630	4350	3210	2410	5140	3280	3370	3870	1670	7600
Количество дней работы цеха	190	232	212	252	248	236	222	255	195	245

## 2.4 Расчет выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух при деревообработке

При деревообработке в атмосферный воздух выделяются:

опилки, стружка, шлифовальная пыль – при механической обработке древесины;

пары формальдегида, фенола, аммиака – при горячем прессовании, намазке, склеивании и сушке шпона;

пары ароматических углеводородов, эфиры, спирты – при отделке изделий.

Количество пылевидных отходов, г/с (пыль с частицами размером менее 200 мкм), находится по формуле

$$G = 0,278 \cdot G_0 \cdot k_n, \quad (2.19)$$

где  $G_0$  – среднечасовое количество отходов, получаемое от рассматриваемого оборудования, кг/ч;

$k_n$  – содержание пылевидных отходов (частицы размером менее 200 мкм), доли ед.

Значений  $G_0$  и  $k_n$  приведены в таблице 2.16.

Таблица 2.16

**Среднечасовое количество отходов, получаемое на различных станках при обработке древесины**

Вариант	Станки	Минимальный объем отсасываемого воздуха, тыс. м <sup>3</sup> /ч	Среднее количество отходов, кг/ч	Среднее содержание пыли с размером частиц менее 200 мкм	
				%	кг/ч
	Круглопильные:		Пыль, опилки		
-	Ц6-2	0,84	29,7	36	10,7
1	ЦТЭФ	2,52	46,3	34	15,7
2	ЦКБ-4, ЦМЭ-2	0,86	44,0	36	15,8
-	ЦПА-40	0,84	44,0	35	15,3
3	Ц2К12	-	35,0	34	4,8
4	ЦД-2А	1,50	61,0	35	21,5
5	ЦДК-4	-	78,0	36	28,1
6	ЦА-2	-	110,0	36	39,7
7	ЦМР-1	1,90	170,0	36	61,2
8	универсальный круглопильный Ц6	-	28,0	30	8,4
-	универсальный круглопильный УП	-	21,0	30	6,3
	Строгальные:		Стружка, пыль		
	фуговальные с ручной подачей:				



-	СФ-3	-	33,0	25	8,2
9	СФ-6	-	73,0	25	18,2
	фуговальные с механической подачей:				
10	СФ-4	-	97,0	25	24,3
11	СФ-6	-	190,0	25	47,5
-	СФА-4	-	97,0	25	24,2
-	СФА-6	-	190,0	25	47,6
-	СР-3	-	97,0	25	24,2
12	СК-15, С16-4, С16-5	-	310,0	25	77,7
13	С2Р6, С2Р8	2,50	445,0	25	112,0
-	С2Р12	3,10	490,0	25	122,5
-	С2Р16	-	555,0	25	139,0
	Фрезерные:		Стружка, пыль		
-	ФЛ, ФЛА, ФСШ-1	0,9	24,0	20	4,8
-	Ф-4, Ф-6	1,35	26,1	20	5,2
-	Ф-5	1,50	26,1	20	5,2
-	ФА-1	-	44,0	20	8,8
-	Ф	-	22,0	20	4,4
-	ФС-1	1,35	47,5	20	9,5
-	ВФК-2	0,40	27,0	20	5,4
14	СР-6	-	245,0	25	61,2
15	СР-12	-	335,0	25	83,7
16	СР-18	-	500,0	25	125,0
17	СП-30, С-26	-	600,0	25	150,0
	Шипорезные:				
18	шипорезные фрезы	1,51	73,0	16	11,6
-	ШО-10 (пила)	0,72	4,6	16	0,7
-	проушечные фрезы	0,83	24,0	16	3,8
-	ШО-6 (пила)	0,72	3,7	16	0,6
-	шипорезные головки	1,22	54,0	16	8,6
-	проушечный диск	0,79	15,3	16	2,4
-	пила	-	74,0	34	25,2
-	фрезерные головки	-	68,0	20	13,6
-	шипорезный рамный	-	9,2	16	1,5
	ШД-10				
19	шипорезные фрезы	-	145,0	16	23,2
-	проушечные фрезы	-	48,0	16	7,7
-	шипорезный ящичный	1,0	8,5	24	2,0
	ШПА-40, Ш2ПА				
20	ШЛХ-3	1,98	62,3	16	10,0
	Ленточнопильные:		Опилки, пыль		
-	ЛО-80	1,15	29,0	34	9,8
-	ЛД-140	2,5	245,0	34	83,5
-	ЛС-80-1, ЛС-40-1	1,2	36,0	33	12,0
-	формативный четырех-	-	245,0	25	61,3

пильный с фрезерными головками ЦФ-2				
Сверлильные и долбежные:		Стружка,		
		пыль		
- СВПА	-	22,0	18	1,5
- СВА-2	0,15	14,0	18	2,5
- СВА-2М	0,15	25,9	-	1,6
- СВП-2	0,15	25,9	-	1,6
- СГВП-1	1,0	23,1	-	1,5
- сверлильный 2Н, 125Л	0,8	26,0	21	6,0
- ДЦА-2	-	27,0	18	4,8
- токарный 1Е61М, 1А61В	1,8	26,0	21	60
Шлифовальные:		Пыль		
- ШлПС-5П	3,0	2,8	100	2,8
- ШлПС-7	3,0	5,6	100	5,6
- ШлНСВ	2,4	1,2	100	1,2
- ШлДБ	-	3,2	95	3,1
- ШлНС	-	2,8	95	2,7
- ШлСЛ	-	1,8	95	1,7
- Шл2Д	-	4,0	95	3,8
- ШлЗЦ-2	-	27,0	95	26,5
- ШлЗЦВ-3	-	48,0	95	45,6
Шлифовально-дисковые				
- ШлДБ-4	1,4	12,0	67	8

При проведении технологических операций склеивания, отделки (шпатлевка, грунтовка, окраска, облагораживание, импрегнирование, печать и др.) выделяются вредные вещества из применяемых смолосодержащих и лакокрасочных материалов в виде паровоздушных смесей. В процессах, где применяют карбамидоформальдегидные и фенолоформальдегидные смолы, количество вредных веществ (формальдегида, фенола), г/с, поступающих в атмосферу, определяют по формуле

$$G = 0,278 \cdot G_{см} \cdot k_1 \cdot (1 - k_2) \cdot k_3 \cdot 0,01, \quad (2.20)$$

где  $G_{см}$  – расход смолы, кг/ч (таблица 2.23);  $k_1$  – содержание свободного формальдегида и/или фенола в составе смолы, принимается в зависимости от марки используемой смолы, % (табл. 2.17);  $k_2$  – коэффициент, характеризующий количество свободного формальдегида и фенола, остающихся в готовой продукции; принимается в зависимости от технологического процесса (табл. 2.18);  $k_3$  – коэффициент, характеризующий распределение вредных веществ (формальдегида, фенола) по участкам (табл. 2.18).

Таблица 2.17

## Содержание свободного формальдегида и фенола в составе смолы, %

Вариант	Марка смолы	Свободный формальдегид	Свободный фенол	Вариант	Марка смолы	Свободный формальдегид	Свободный фенол
1	МФ	3-4	-	11	СПМФ-4	0,5	-
2	М-60	1,0-1,5	-	12	Экстер А	0,4	0,05-0,1
3	М-70	1,5-3,0	-	13	КФ-Б	0,9	-
4	М-19-62	1,0-1,2	-	14	КФ-Ж	1,0	-
5	МФПС-1	2	-	15	СФЖ-3016	4,0	5,0
6	ВИАМ-Ф9	2-3,5	2-2,5	16	СФЖ-3014	0,15	0,1
7	РФ-50	5,3	-	17	СФЖ-3013	0,18	0,18
8	ММПК-25	1,4	-	18	СФЖ-3011	1,0	2,5
9	ММПК-50	1,1	-	19	СФЖ-309	-	15-20
10	МФ-17	2,5-3,5	-	20	ВФ	-	7,5-11,0

Таблица 2.18

## Распределение свободного формальдегида и фенола

Вариант	Производство	Коэффициент $k_2$	Участок производства	Коэффициент $k_3$
1, 2, 3, 4, 5	Намазка и фанерование натурального и синтетического шпона <u>при производстве мебели</u>	0,7	1. Размещение клеенамазывающих вальцов и горячих прессов 2. Участок выдержки фанерованных изделий.	0,83 0,17
6, 7, 8, 9, 10	Пропитка бумаги ( <u>ламинирование</u> )	0,5	Пропитка	1,0
11, 12, 13, 14, 15	Пропитка стружки смолой горячего прессования; охлаждение <u>древесно-стружечных плит</u>	0,6	1. Размещение главного конвейера и пресса 2. Приготовление связующих 3. Склад готовой продукции	0,9 0,09 0,01
16, 17, 18, 19, 20	Намазка, сушка; склеивание шпона и охлаждение <u>фанеры</u> после прессов	0,5	1. Клеевые вальцы 2. Сушилки для намазанного шпона; горячие прессы 3. Камеры охлаждения	0,1 0,75 0,15

В процессах отделки изделий, в том числе импрегнирования, печати рисунка и в других операциях применяют лакокрасочные материалы, содержащие неорганические растворители. Количество вредного вещества,

поступающего в атмосферный воздух из отделочных материалов, следует определять по формуле, г/с:

$$G = 0,278 \cdot G_m \cdot f_{PK} \cdot 0,8 \cdot 0,01, \quad (2.21)$$

где  $G_m$  – расход отделочного материала, кг/ч (таблица 2.23);

$f_{PK}$  – содержание рассчитываемого компонента в составе летучей части отделочного материала, %;

0,8 – коэффициент поступления летучих веществ в атмосферный воздух.

Состав отделочных материалов (нитрогрунтовки, лаки, эмали, шпатлевки) приведен в табл. 2.19÷2.22.

Таблица 2.19

**Состав нитрогрунтовок, нитроцеллюлозных лаков, %**

Компоненты	Грунтовки		Лаки					
	НЦ-0140	БНК	НЦ-221	НЦ-222	НЦ-223	НЦ-224	НЦ-218	НЦ-243
<b>Вариант</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Ацетон	-	2,3	4,2	-	-	-	-	-
Спирт бутиловый	12	5,3	16,6	7,4	10,05	8	6,3	11,1
Бутилацетат	16	3,5	12,5	7,2	12,06	10,2	6,3	7,4
Этилацетат	12	9,4	8,3	12,4	3,35	10,5	11,2	5,18
Спирт этиловый	8	9,4	8,3	12,2	-	34,05	11,2	7,4
Ксилол	-	17,8	-	-	16,75	10,3	16,45	-
Толуол	16	20,6	33,2	36,3	16,75	-	16,45	37
Этилцеллозольв	12	1,7	-	2,5	8,04	-	2,1	5,92
Циклогексанон	4	-	-	-	-	-	-	-
Растворитель РПК-240	-	-	-	-	-	1,95	-	-
Летучая часть	80	70	83,1	78	67	75	70	74
Сухой остаток	20	30	16,9	22	33	25	30	26

Таблица 2.20

**Состав полиэфирных, поли- и нитроуретановых лаков, %**

Компоненты	ПЭ-250М	УР-277М	УР-249, «М»
<b>Вариант</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
Ацетон	38	-	-
Бутилацетат	-	-	26
Ксилол	1	5	16
Толуол	4	-	-
Циклогексанон	-	34	14
Этилацетат	-	26	15
Летучая часть	43	65	71
Сухой остаток	57	35	39

Таблица 2.21

**Состав эмалей, %**

Компоненты	НЦ-25	НЦ-132П	НЦ-1125	НЦ-257	НЦ-258
<b>Вариант</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
Бутилацетат	6,6	6,4	6	6,2	6,5
Этилцеллозольв	5,28	6,4	4,8	4,96	-
Ацетон	4,62	6,4	4,2	4,34	-
Спирт бутиловый	9,9	12	6	9,3	10,4
Спирт этиловый	9,9	16	9	6,2	5,85
Толуол	29,7	32,8	30	31	13
Этилацетат	-	-	-	-	0,75
Ксилол	-	-	-	-	16,25
Циклогексанон	-	-	-	-	3,25
Летучая часть	66	80	60	62	65
Сухой остаток	34	20	40	38	35

Таблица 2.22

**Состав шпатлёвок и грунтовок, %**

Компоненты	НЦ-008	XB-005	XC-010	AK-070
<b>Вариант</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
Ацетон	4,5	8,5	17,4	-
Бутилацетат	9	4,0	8,0	43,5
Толуол	9	20,5	41,6	17,4
Спирт этиловый	-	-	-	8,7
Спирт бутиловый	1,5	-	-	17,4
Этилацетат	6	-	-	8,7
Летучая часть	30	33	67	87
Сухой остаток	70	67	33	13

Таблица 2.23

**Варианты заданий**

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расход смолы, кг/ч	50	60	70	60	50	80	90	100	70	60
Расход отделочного материала, кг/ч	35	32	30	38	44	40	30	28	42	46

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Расход смолы, кг/ч	110	150	130	120	140	110	90	100	120	140
Расход отделочного материала, кг/ч	50	52	54	56	53	46	48	44	38	40

Общее время работы оборудования за год составляет 255 календарных дней по 8 часов в сутки. Кроме того, при расчёте годовых

выбросов на участках механической обработки древесины необходимо вводить в расчёт следующие коэффициенты:

$k_1 = 0,85$  – плановый коэффициент загрузки оборудования;

$k_2 = 0,875$  – коэффициент использования рабочего времени;

$k_3 = 0,9$  – коэффициент, учитывающий расход рабочего времени на смену инструмента, настройку и техническое обслуживание оборудования;

$k_4 = 0,95$  – коэффициент, учитывающий потери рабочего времени на ремонт оборудования;

$k_5 = 0,85$  – коэффициент, учитывающий внутрисменные потери рабочего времени на производственные неполадки.

## **2.5 Расчет выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух из цехов химической и электрохимической обработки**

При гальванической обработке деталей выделяются аэрозоли серной и соляной кислот, едких щелочей, оксиды азота, пары азотной и соляной кислот, цианистый водород, фтористый водород, хромовый ангидрид, аэрозоли растворов и др. (табл. 2.24).

*Таблица 2.24*

### **Агрегатное состояние загрязняющих веществ в выбросах гальванических цехов**

Вещество	Агрегатное состояние
Азотная кислота и оксиды азота	Газовая фаза не менее 99,5%; аэрозоль не более 0,5%
Растворимые соли никеля	Аэрозоль
Серная кислота	“
Фтористый водород	Пары
Фосфорная кислота	Аэрозоль
Хромовый ангидрид	“
Хлористый водород	Газовая фаза не менее 75%; аэрозоль не более 25%
Щелочи едкие	Аэрозоль
Цианистый водород	Газовая фаза не менее 75%; аэрозоль не более 25%
Трихлорэтан	Пары
Трифтортрихлорэтан (фреон 113)	“
Уайт-спирит	“
Бензин	“
Бензол	“
Тетрахлорэтилен	“
Керосин	“
Этиловый спирт	“

Валовое выделение  $j$ -того загрязняющего вещества при обезжиривании поверхностей деталей перед нанесением покрытий  $D_{jz}$ ,  $m/год$ , на отдельном источнике выделения, рассчитывается по формуле

$$D_{jz} = 10^{-6} \cdot \sum_{i=1}^m q_j^i \cdot F^i \cdot T_1^i \cdot K_1^i \cdot K_2^i \cdot K_3^i, \quad (2.22)$$

где  $m$  – количество гальванических ванн, с поверхности которых одновременно выделяется  $j$ -тое загрязняющее вещество на отдельном источнике выделения в течение года (по заданию);

$q_j^i$  – удельное количество  $j$ -того загрязняющего вещества, выделяющегося с поверхности ванны в процессе обезжиривания поверхностей деталей перед нанесением покрытий,  $г/(м^2 \cdot ч)$ , определяется по таблице 2.27;

$F^i$  – площадь зеркала ванны  $i$ ,  $м^2$ ;

$T_1^i$  – продолжительность процесса обезжиривания поверхностей деталей в ванне  $i$  на отдельном источнике выделения в течение года, ч, принимается по таблице 2.28;

$K_1^i$  – коэффициент учёта увеличения поверхности испарения, обусловленного разрывом пузырьков газов ( $H_2$  и  $O_2$ ) на поверхности зеркала жидкости в ванне.

Коэффициент  $K_1^i$  представлен в виде зависимости от фактического процента заполнения объема ванны раствором и рассчитывается по формуле

$$K_1^i = x \cdot 0,0143 \quad (2.23)$$

где  $x$  – фактический процент заполнения объема ванны раствором, %;

$K_2^i$  – коэффициент, зависящий от площади испарения, определяемый по таблице 2.25;

Таблица 2.25

**Значения коэффициента  $K_2^i$ , зависящего от площади испарения**

Площадь зеркала ванны, $м^2$	Коэффициент $K_2^i$	Площадь зеркала ванны, $м^2$	Коэффициент $K_2^i$
0,05	2,886	0,55	1,386

0,10	2,560	0,60	1,333
0,15	2,346	0,65	1,272
0,20	2,173	0,70	1,225
0,25	2,000	0,75	1,178
0,30	1,853	0,80	1,133
0,35	1,720	0,85	1,093
0,40	1,600	0,90	1,061
0,45	1,520	0,95	1,034
0,50	1,453	1,00 и более	1,000

$K_3^i$  – коэффициент, зависящий от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения и температуры воздуха в помещении, определяемый по таблице 2.26. Подвижность воздуха и температура воздуха в помещении цеха принимается в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88.

Таблица 2.26

**Значения коэффициента  $K_3^i$ , зависящего от скорости воздушного потока над поверхностью испарения и температуры воздуха в помещении**

Скорость воздушного потока над поверхностью испарения, м/с	Значение коэффициента $K_3^i$ в зависимости от температуры воздуха в помещении, °С					
	10	15	20	25	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,6	2,6	2,4	2,0	1,8	4,6
0,2	4,6	3,8	3,5	3,0	2,4	2,3
0,3	5,5	4,5	4,3	3,5	2,9	2,7
0,4	6,2	5,1	4,9	4,0	3,3	2,9
0,5	6,6	5,7	5,4	4,1	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	6,5	5,6	4,6

Валовое выделение  $j$ -того загрязняющего вещества с поверхности зеркала раствора одной или нескольких ванн  $B_{jz}$ ,  $m/год$ , при нанесении покрытий химическим или электрохимическим способом на отдельном источнике выделения, рассчитывается по формуле

$$B_{jz} = 10^{-6} \cdot \sum_{i=1}^m F^i \cdot T_2^i \cdot K_1^i \cdot K_4^i \cdot K_7^i \cdot K_8^i \cdot K_9^i \cdot (K_{10}^i \cdot q_{aj}^i + q_{gj}^i), \quad (2.24)$$



где  $m$  – количество гальванических ванн, в которых происходит нанесение покрытий на отдельном источнике выделения в течение года (по заданию);

$T_2^i$  – продолжительность процесса нанесения покрытий в ванне  $i$  на отдельном источнике выделения в течение года, ч, принимается по таблице 2.28;

$K_4^i$  – коэффициент загрузки ванны обрабатываемыми деталями, принимается по таблице 2.28;

$K_7^i$  – коэффициент укрытия ванны. При наличии в составе раствора поверхностно-активных веществ равен 0,5; при отсутствии в составе раствора поверхностно-активных веществ равен 1,0;

$K_8^i$  – коэффициент, учитывающий тип ванны. При нанесении покрытий в ваннах, требующих заливки электролита после каждой партии деталей равен 1,8;

$K_9^i$  – коэффициент, учитывающий автоматизацию процесса нанесения покрытий. При автоматическом технологическом процессе (автоматические и полуавтоматические линии нанесения покрытий) равен 0,8, при ручном технологическом процессе (каждая операция при нанесении покрытий производится оператором) равен 1,0;

$K_{10}^i$  – коэффициент, учитывающий снижение относительного содержания аэрозолей в удаляемом воздухе по пути его движения, на который суммарно влияют устройство отсоса воздуха и присоединённый к нему воздуховод, рассчитывается по формуле

$$K_{10}^i = K_d \cdot K_v, \quad (2.25)$$

где  $K_d$  – коэффициент, отражающий влияние устройства отсоса воздуха, равный:

0,97 для зонта;

0,90 для панели равномерного всасывания;

0,87 для вытяжного шкафа при отсутствии встроенных фильтров;

0,80 для одностороннего отсоса без поддува;

0,60 для одностороннего отсоса с поддувом;

0,50 для двустороннего отсоса без поддува;

0,40 для двустороннего отсоса с поддувом;

$K_v$  – коэффициент, отражающий влияние воздуховода, рассчитываемый по формуле

$$K_v = \frac{0,65}{l^{2/3} + 1,8}, \quad (2.26)$$

где  $l$  – длина воздуховода, м, принимается по таблице 2.28.

$q_{aj}^i$  – удельное выделение *аэрозоля*  $j$ -того загрязняющего вещества с поверхности  $i$ -той гальванической ванны,  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , определяется по таблицам 2.24 и 2.27.

$q_{gj}^i$  – удельное выделение *газовой фазы*  $j$ -того загрязняющего вещества с поверхности  $i$ -той гальванической ванны,  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , определяется таблицам 2.24 и 2.27.

Максимальное выделение  $j$ -того загрязняющего вещества при обезжиривании поверхностей деталей перед нанесением покрытий  $S_{jz}$ ,  $\text{г}/\text{с}$ , на отдельном источнике выделения, рассчитывается по формуле

$$S_{jz} = 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^m q_j^i \cdot F^i \cdot 1,43 \cdot K_2^i \cdot K_3^i, \quad (2.27)$$

где  $K_3^i$  – коэффициент, определяемый по таблице 2.26 *при минимальной температуре воздуха* в помещении гальванического участка (цеха) и *максимальной скорости воздушного потока* над поверхностью испарения.

Максимальное выделение  $j$ -того загрязняющего вещества с поверхности зеркала раствора одной или нескольких ванн  $H_{jz}$ ,  $\text{г}/\text{с}$ , при нанесении покрытий химическим или электрохимическим способом на отдельном источнике выделения, рассчитывается по формуле

$$H_{jz} = 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^m F^i \cdot 1,43 \cdot K_8^i \cdot (K_{10}^i \cdot q_{aj}^i + q_{gj}^i) \quad (2.28)$$

Таблица 2.27

**Удельное количество загрязняющих веществ, выделяющихся с поверхности гальванических ванн при различных технологических процессах**

Вариант	Процесс	Вещество	Количество, $\text{г}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$
1;9	1. Обезжиривание изделий: а) органическими растворителями	Бензин	4530

2;10		Керосин	1560
3;11		Уайт-спирит	5800
4;12		Бензол	2970
5;13		Спирт этиловый	114
6;14		Трихлорэтилен	3940
7;15		Тетрахлорэтилен	4200
8;16		Трифтортрихлорэтан (фреон 113)	14910
17;19	б) химическое в растворах щелочи	Едкая щелочь	1,0
18;20	в) электрохимическое	Едкая щелочь	39,6
	2. Химическое травление изделий:		
-	а) в растворах хромовой кислоты и ее солей при $t > 50^\circ \text{C}$	Хромовый ангидрид	0,02
1	б) в растворах щелочи при $t > 50^\circ \text{C}$	Едкая щелочь	198,0
2	в) в разбавленных нагретых ( $t > 50^\circ \text{C}$ ) и концентрированных растворах серной кислоты	Серная кислота	25,2
	г) в растворах соляной кислоты концентрацией, г/л:		
-	<200	Хлористый водород	1,1
-	200–260	то же	3,0
-	250–300	“	10,0
3	300–350	“	20,0
4	350–500	“	50,0
5	500–1000	“	288,0
-	д) в разбавленных нагретых ( $t > 50^\circ \text{C}$ ) и концентрированных растворах ортофосфорной кислоты	Фосфорная кислота	2,20
	е) в растворах, содержащих фтористоводородную кислоту и ее соли концентрацией, г/л:		
-	<10	Фтористый водород	1,0
-	10–20	то же	5,0
-	20–50	“	10,0
-	50–100	“	18,0
6	100–150	“	36,0
7	150–200	“	42,0
8	>200	“	72,0
	ж) в разбавленных растворах, содержащих азотную кислоту концентрацией более 100 г/л	Азотная кислота и оксиды азота	10,8
	3. Снятие старых покрытий:		
9	а) олова и хрома	Едкая щелочь	39,6
10	б) меди	Хромовый ангидрид	36,0
-	в) никеля и серебра	Серная кислота	25,2
	4. Полирование		
11	а) химическое		

	в концентрированных холодных ( $t < 50^{\circ}\text{C}$ ) растворах ортофосфорной кислоты	Фосфорная кислота	2,2
	в разбавленных растворах, содержащих азотную кислоту концентрацией более 100 г/л	Азотная кислота и оксиды азота	10,8
	в нагретых разбавленных растворах, содержащих серную кислоту	Серная кислота	25,0
12	б) электрохимическое		
	в растворах, содержащих хромовую кислоту или ангидрид хромовый концентрацией 30–60 г/л	Хромовый ангидрид	7,2
	в растворах, содержащих серную кислоту концентрацией 150 г/л	Серная кислота	25,2
	в концентрированных холодных растворах ортофосфорной кислоты	Фосфорная кислота	18,0
13	5. Нанесение покрытий на изделия		
	а) электрохимическая обработка в растворах хромовой кислоты концентрацией 150–300 г/л при силе тока $I \geq 1000$ А (хромирование, анодирование, декапирование и др.)	Хромовый ангидрид	36,0
-	б) электрохимическая обработка в растворах хромовой кислоты концентрацией 30–100 г/л при силе тока $I \leq 500$ А (анодирование магниевых сплавов), а также химическое оксидирование алюминия и магния	то же	3,6
-	в) химическая обработка стали в растворах хромовой кислоты и ее солей при $t > 50^{\circ}\text{C}$ (осветление, пассивация, наполнение и пропитка, обработка в растворе хромпика)	“	0,02
14	г) химическая обработка в растворах щелочи при $t > 50^{\circ}\text{C}$ (получение металлических покрытий контактным способом, оксидирование сталей и чугунов)	Едкая щелочь	198,0
15	д) электрохимическая обработка в растворах щелочи (цинкование, кадмирование, покрытие сплавом медь-цинк, тонирование и окрашивание)	Едкая щелочь	39,6
-	е) химическая обработка в растворах соляной кислоты в концентрации до 200 г/л (декапирование, железнение и др.)	Хлористый водород	1,1
16	ж) электрохимическая обработка в растворах, содержащих серную кислоту концентрацией 150–350 г/л (палладирование, анодное окисление алюминия и его сплавов, родирование)	Серная кислота	25,2
-	з) электрохимическая обработка в концентрированных холодных растворах, содержащих ортофосфорную кислоту (анодное окисление алюминия и его сплавов)	Фосфорная кислота	18,0
-	и) химическая обработка в разбавленных нагретых ( $t > 50^{\circ}\text{C}$ ) и концентрированных холодных растворах, содержащих ортофосфорную кислоту	Фосфорная кислота	2,2

	(осветление и пассивирование)		
-	к) никелирование в хлоридных растворах при плотности тока 1–3 А/дм <sup>2</sup>	Растворимые соли никеля	0,54
-	л) никелирование в сульфатных растворах при плотности тока 1–3 А/дм <sup>2</sup>	то же	0,11
-	м) химическая обработка в растворах, содержащих азотную кислоту концентрацией >100 г/л (осветление и пассивирование)	Азотная кислота и оксиды азота	10,8
	н) нанесение покрытий в цианистых растворах (кадмирование, серебрение, золочение, цинкование, меднение, латунирование, амальгамирование) концентрацией, г/л:		
-	<50	Цианистый водород	5,4
17	>50	то же	20,0
	о) химическая обработка в растворах фтористоводородной кислоты и ее солей концентрацией, г/л:		
-	<10	Фтористый водород	1,0
-	10-20	то же	5,0
-	20-50	“	10,0
-	50–100	“	18,0
18	100–150	“	36,0
19	150–200	“	42,0
20	>200	“	72,0

Если в состав ванны входит несколько растворов различных веществ, то количество выделяющихся веществ рассчитывается как сумма веществ для всех растворов, согласно табл. 2.27. Например, при электрохимическом полировании используется ванна, содержащая растворы ортофосфорной кислоты, ангидрида хромового и серной кислоты. Процесс происходит при 60–80°С; плотность тока 15–80 А/дм<sup>3</sup>. В этом случае с поверхности ванны происходит выделение хромового ангидрида 7,2 г/(ч·м<sup>2</sup>), ортофосфорной кислоты 18 г/(ч·м<sup>2</sup>) и серной кислоты 25,2 г/(ч·м<sup>2</sup>).

Таблица 2.28

### Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Площадь зеркала испарения, м <sup>2</sup>	1,40	1,35	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10	0,40	0,45	0,50
Коэффициент загрузки ванн	0,80	0,85	0,70	0,75	0,60	0,65	0,90	0,95	0,85	0,75

Продолжительность процессов обработки $T_1^i = T_2^i$ , ч/год	2380	1940	2550	1830	2180	2240	2960	3040	1870	2270
Длина воздуховода от отсоса, м	2	4	6	8	3	5	7	3	6	8

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Площадь зеркала испарения, м <sup>2</sup>	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
Коэффициент загрузки ванн	0,70	0,60	0,80	0,90	0,75	0,65	0,85	0,70	0,60	0,75
Продолжительность процессов обработки $T_1^i = T_2^i$ , ч/год	3400	2610	1740	2390	1620	3760	3120	1840	3250	2440
Длина воздуховода от отсоса, м	4	2	7	4	8	9	6	5	8	7

Для сравнительной оценки опасности вредных веществ используется показатель опасности  $\Pi$ , м<sup>3</sup>/с, определяемый по формуле

$$\Pi = \frac{10^3 M}{(\text{ПДК}_{\text{м.р.}})^2} \cdot \frac{D}{H + D} \cdot C_D, \quad (2.29)$$

где  $M$  – расход выбрасываемого в атмосферу вещества, г/с;

$\text{ПДК}_{\text{м.р.}}$  – максимальная разовая предельно допустимая концентрация вредного вещества, мг/м<sup>3</sup> [7];

$H$  и  $D$  – высота и диаметр устья источника выбросов соответственно, м;

$C_D$  – концентрация вредного вещества на выбросе из устья источника, мг/м<sup>3</sup>, которую можно определить как  $C_D = \frac{4M}{\rho D^2 w_0}$ ; здесь  $w_0$  –

скорость выхода газозвушной смеси из устья источника в расчётных условиях, м/с (по заданию).

Доминирующим веществом в выбросах считается вещество, для которого величина показателя опасности будет наибольшей.

Для групп суммации вредного воздействия рассчитывается сумма показателей опасности  $\Pi_i$  каждого вещества, входящего в группу.

Величины санитарно-гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха согласно [7], представлены в таблице 2.29.

Таблица 2.29

**Санитарно-гигиенические нормативы качества атмосферного воздуха**

Загрязнитель	Формула	Код вещества	Класс опасности	ПДК <sub>м.р.</sub>	ПДК <sub>с.с.</sub>	ПДК <sub>р.з.</sub>	ОБУВ
1	2	3	4	5	6	7	8
Азота монооксид	NO	0304	3	0,4	0,24	5	-
Азота оксиды в пересчёте на NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	0301	3	0,25	0,1	2	-
Ацетон	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	1401	4	0,35	0,15	800	-
Бензин	-	2705	4	0,05	-	300	-
Бензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0602	2	0,1	0,04	15	-
Бутилацетат	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	1210	4	0,1	-	200	-
Водород фосфористый	H <sub>3</sub> P	0315	1	0,01	0,004	0,1	-
Водород фторид	HF	0342	2	0,02	0,005	0,5	-
Водород хлорид	HCl	0316	2	0,2	0,1	5	-
Водород цианид	HNC	0317	1	0,03	0,01	0,3	-
Железа триоксид	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0123	4	0,2	0,1	6*	-
Зола угольная	-	2902	3	0,3	0,15	4*	-
Зола сланцевая	-	2903	3	0,03	0,01	4*	-
Зола мазутная	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2904	2	0,02	0,008	0,5	-
Кадмий и его соединения	Cd	0124	1	0,003	0,001	0,05	-
Керосин (в пересчёте)	C	2732	4	-	-	600	1,2
Кислота азотная	HNO <sub>3</sub>	0302	3	0,4	0,3	2	-
Кислота серная	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0322	2	0,3	0,1	1	-
Кремния диоксид	SiO <sub>2</sub>	0323	3	-	-	6	0,02
Ксилол (диметилбензол)	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	0616	3	0,2	0,1	150	-
Медь и её соединения	Cu	0140	2	0,003	0,001	1	-
Метилизобутилкетон	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	1408	3	0,1	-	5	-
Мышьяк и его соединения	As	0325	1	0,008	0,003	0,04	-
Нефрас (в пересчёте)	C	2741	4	1,5	6	300	-
Никель и его соединения	NiO	0164	1	0,01	0,004	0,05	-
Никеля соли (р.)	-	0165	1	0,002	0,0008	0,005	-
Пыль древесная	-	2936	3	0,4	0,16	6*	-
Пыль неорганическая, содержащая SiO <sub>2</sub> (20-70%)	-	2908	3	0,3	0,1	6	-
Пыль углеродная (сажа)	C	0328	3	0,15	0,05	6	-

окончание таблицы 2.29							
1	2	3	4	5	6	7	8
Растворитель РПК-240	-	2854	4	1	0,4	-	-
Ртуть и её соединения	Hg	0183	1	0,0006	0,0003	0,01	-
Свинец и его соединения	Pb	0184	1	0,001	0,0003	0,05*	-
Сернистый ангидрид	SO <sub>2</sub>	0330	3	0,5	0,2	10	-
Сольвент (в пересчёте)	C	2054	4	-	-	300	0,03
Спирт бутиловый	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	1042	3	0,1	-	30	-
Спирт изобутиловый	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	0148	3	0,1	0,04	10	-
Спирт этиловый	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	1061	4	5	2	2000	-
Стирол (этиленбензол)	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	0620	3	0,04	0,008	30	-
Тетрахлорэтилен	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	0882	3	0,5	0,25	30	-
Толуол (метилбензол)	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0621	3	0,6	0,3	150	-
Трифтортрихлорэтан	C <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	0894	4	8	2,4	5000	-
Трихлорэтан	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	0899	4	2	0,8	20	-
Трихлорэтилен	C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>	0902	3	4	1	30	-
Уайт-спирит	C <sub>10,5</sub> H <sub>21,0</sub>	2752	4	-	-	900	1
Углеводороды (летучие смолы)	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	2888	1	0,004	-	0,05	-
Углерода оксид	CO	0337	4	5	3	20	-
Фенол (в составе смол)	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	1071	2	0,01	0,007	0,1	-
Формальдегид (в составе смол)	HCOH	1325	2	0,03	0,012	0,05	-
Фториды (плохо р.)	AlF <sub>3</sub>	0344	3	0,2	0,12	2,5	-
Хром и его соединения	Cr	0228	1	-	-	0,03	0,01
Хромовый ангидрид (хрома триоксид)	CrO <sub>3</sub>	203	1	-	0,0015	0,03	-
Циклогексанон	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	1411	3	0,04	-	30	-
Цинк и его соединения	Zn	0229	2	0,25	0,15	1,5	-
Щёлочи едкие (в пересчёте на натрия гидроксид)	NaOH	0150	2	-	-	0,5	0,01
Этилацетат	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	1240	4	0,1	-	200	-
Этилцеллозольв (2-этоксиэтанол)	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	1119	3	-	-	30	0,7

\* – среднесменная ПДК



### 3 РАСЧЁТ КАТЕГОРИИ ОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА

Для установления целесообразности и приоритетности разработки нормативов ПДВ, составления справок и обзоров состояния загрязнения атмосферы, сравнения уровня загрязнения в различных городах (регионах), составления списков городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы рассчитывают категорию опасности предприятий (КОП) для окружающей среды по формуле

$$\text{КОП} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{M_i}{\text{ПДК}_i} \right)^{\alpha_i}, \quad (3.1)$$

где  $n$  – количество загрязняющих веществ, выбрасываемых предприятием;  $M_i$  – масса годового выброса  $i$ -го вещества, т/год, с учётом количества дней работы в году и продолжительности смены;  $\text{ПДК}_i$  – среднесуточная ПДК  $i$ -го вещества,  $\text{мг/м}^3$ ;  $\alpha_i$  – безразмерный коэффициент, позволяющий привести степень вредности  $i$ -го вещества к вредности диоксида серы. Для вещества 1-го класса опасности  $\alpha_i = 1,7$ ; для 2, 3 и 4-го классов 1,3; 1,0 и 0,9 соответственно. Значения КОП рассчитываются при условии, когда  $\frac{M_i}{\text{ПДК}_i} > 1$ , при  $\frac{M_i}{\text{ПДК}_i} < 1$  КОП не рассчитываются и приравниваются к нулю.

При отсутствии среднесуточных значений ПДК для расчета КОП могут использоваться значения максимальных разовых ПДК, либо уменьшенные в 10 раз значения ПДК воздуха рабочей зоны.

По величине КОП предприятия подразделяются на четыре категории опасности с граничными значениями, представленными в табл. 3.1.

*Таблица 3.1*

**Категории опасности предприятий**

Категория опасности предприятия	Значения КОП
1	$\text{КОП} > 10^6$
2	$10^6 > \text{КОП} > 10^4$
3	$10^4 > \text{КОП} > 10^3$
4	$\text{КОП} < 10^3$

Предприятия 1-й и 2-й категории представляют собой наибольшую опасность для окружающей среды, к ним необходимо применять особые

требования при разработке нормативов ПДВ и ежегодном контроле за их достижением. Для этих предприятий тома ПДВ разрабатываются по полной программе рекомендаций по оформлению и содержанию проекта нормативов предельно допустимых выбросов в атмосферу для предприятия [8].

Предприятия 3-й категории опасности, как правило, самые многочисленные, и они могут иметь тома ПДВ, разработанные по сокращенной программе. Контроль источников выбросов на таких предприятиях проводится выборочно, один раз в несколько лет.

К 4-й категории опасности относят самые мелкие предприятия с небольшим количеством выбросов вредных веществ в атмосферу. Для таких предприятий устанавливают нормативы ПДВ на уровне фактических выбросов. Эти предприятия могут отчитываться о выбросах не ежегодно, а один раз в три года при проведении очередной инвентаризации. Тома ПДВ для таких предприятий могут не составляться.

**Пример.** Требуется определить категорию опасности предприятия при следующих выбросах,  $M_i$ , т/год: диэтиловый эфир 11,9; уксусная кислота 1,1; уксусный ангидрид 0,4; крахмальная пыль 0,3; диоксид азота 3,4; оксид углерода 3,3.

#### Решение.

Из [7] или по таблице 2.29 находим среднесуточные ПДК и классы опасности выделяющихся вредностей. Результаты расчетов сводим в таблицу:

Вещество	$M_i$ , т/год	ПДК <sub>i</sub> , мг/м <sup>3</sup>	$\frac{M_i}{\text{ПДК}_i}$	Класс опасности вещества	$\alpha_i$	$\left(\frac{M_i}{\text{ПДК}_i}\right)^{\alpha_i}$
Диэтиловый эфир	11,9	0,6	19,8	4	0,9	14,7
Уксусная кислота	1,1	0,06	18,3	3	1,0	18,3
Уксусный ангидрид	0,4	0,03	13,3	3	1,0	13,3
Пыль крахмала	0,3	0,15	2	4	0,9	1,86
Диоксид азота	3,4	0,1	34	3	1,0	34
Оксид углерода	3,3	3	1,1	4	0,9	1,09

Категория опасности предприятия определяется как сумма категорий опасности отдельных веществ, т.е. для данного предприятия  $\sum \left(\frac{M_i}{\text{ПДК}_i}\right)^{\alpha_i} = 83,25$ , следовательно, предприятие относится к четвертой категории опасности.

#### 4 РАСЧЁТ РАССЕЙВАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ И УСТАНОВЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСОВ

После выхода из источника выбросов, загрязняющие вещества не остаются в атмосфере в неизменном виде. Прежде всего, происходят физические изменения, особенно в процессе перемещения в пространстве, турбулентной диффузии, разбавления и т.д. Кроме того, загрязняющие вещества способны вступать в химическое взаимодействие с другими компонентами атмосферного воздуха, изменяя свой количественный и качественный состав.

Выбросы вредных веществ, содержащихся в отходящих газах промышленных предприятий, осуществляются через дымовые трубы, главное назначение которых - отводить выбросные газы в верхние слои атмосферы (во всяком случае, за пределы приземного слоя) и рассеивать их. Рассеивание является одним из путей достижения установленных нормативов качества воздуха в приемном слое атмосферы в районе расположения предприятия. Струя газа, выходя из дымовой трубы, разбавляется незагрязненным воздухом. Поэтому имеет место снижение концентрации вредных компонентов дымовых газов, составляющее суть явления рассеивания.

В общем случае степень разбавления выбросов находится в прямой зависимости от расстояния, которое прошел этот выброс до данной точки. Вредные вещества, содержащиеся в выбросе, распространяются по направлению ветра в пределах сектора, ограниченного довольно малым углом раскрытия факела  $10-20^\circ$  вблизи выхода из трубы. Если принять, что угол раскрытия факела не меняется с расстоянием, то площадь поперечного сечения факела должна возрастать пропорционально квадрату расстояния и, следовательно, концентрация вредных веществ должна падать обратно пропорционально квадрату расстояния.

При построении картины рассеивания вредных компонентов дымовых газов следует иметь в виду, что наибольший практический интерес представляет не вертикальное распределение концентрации в пространстве, в частности, по высоте факела, а изменение концентрации в приземном слое атмосферы, т.е. *в двухметровом слое над поверхностью земли*. У основания трубы и далее вплоть до приземления дымового факела концентрация вредных компонентов равна нулю (см. рис. 4.1), – это так называемая зона неорганизованного загрязнения. 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 за счет

дальнейшего разбавления выбросов незагрязненным воздухом. Однако это снижение до нормативного уровня может простирается на многие километры.

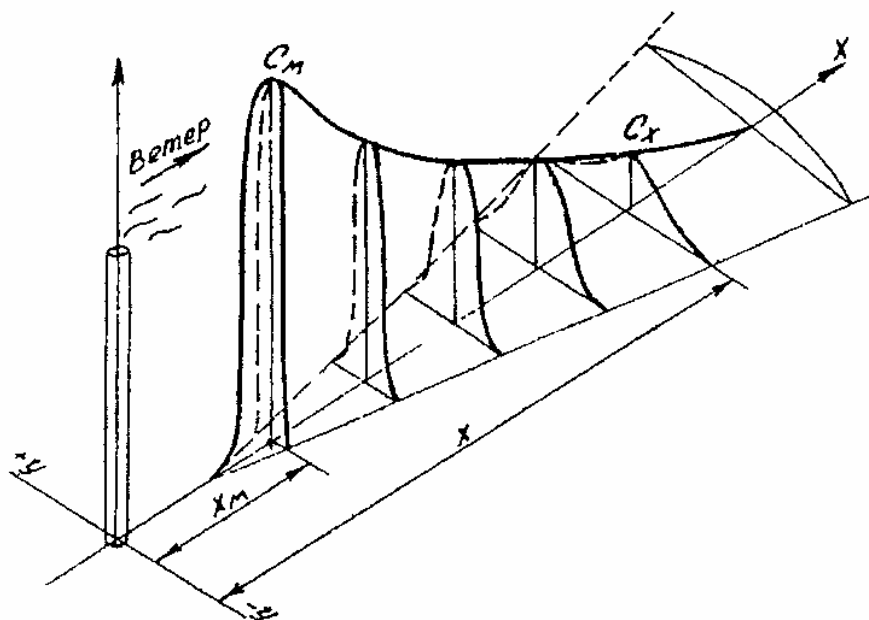


Рисунок 4.1. Изменение приземных концентраций вредных веществ.

Вредные вещества, выбрасываемые с дымовыми газами промышленных предприятий, переносятся и рассеиваются в атмосфере в зависимости от ряда факторов: метеорологических, климатических, рельефа местности и характера расположения на ней объектов предприятия, высоты дымовых труб и гидродинамических параметров истечения выбросных газов. При этом к важнейшим метеорологическим и климатическим факторам относят скорость ветра, температурную стратификацию (распределение температур окружающего воздуха в вертикальном направлении вблизи дымовой трубы), температуру окружающего воздуха.

Каждому источнику выбросов в зависимости от высоты его, объема и температуры газов соответствует своя, так называемая опасная скорость ветра  $u_m$ , когда имеет место наибольшая приземная концентрация вредных веществ  $c_m$ . Сущность понятия опасной скорости ветра для источника выражается в следующем: при штиле или малых скоростях ветра дымовой факел беспрепятственно поднимается на большую высоту и не попадает в ближайшие к источнику приземные слои воздуха. При большой скорости ветра дымовой факел активно перемешивается с большим объемом окружающего воздуха; в результате этого, хотя факел и достигает земли, величины приземных концентраций невелики. Таким образом, между

штилем и высокой скоростью ветра есть такая опасная скорость  $u_m$ , при которой дымовой факел, прижимаясь к земле, на определенном расстоянии создает наибольшую величину приземной концентрации  $c_m$ . Обнаружены два максимума концентраций в зависимости от скорости ветра на уровне флюгера: при штиле и при скорости 4-7 м/сек. 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 связано с интенсивным поступлением к земле выбросов от высоких источников.

Сравнение опасных скоростей ветра с характеристикой ветров по данным климатических наблюдений позволяет определить фактическое влияние промышленного предприятия на загрязнение воздуха в городе или поселке.

Сильное влияние на уровень приземной концентрации вредных веществ оказывает температурная стратификация атмосферы, т.е. характер вертикального распределения температур. Температурная стратификация определяется способностью поверхности Земли поглощать или излучать тепло. При обычном состоянии атмосферы в дневное время земная поверхность нагревается и за счет конвективного теплообмена нагревает приземный слой воздуха. В этих условиях по мере подъема вверх температура падает. Ночью при ясной погоде поверхность Земли отдает в окружающее пространство (подобно любому нагретому предмету) большое количество лучистого тепла. При этом земная поверхность, охлаждаясь сама, охлаждает приземный слой воздуха, который остывает быстрее верхних слоев. В результате происходит инверсия (поворот) распределения температур в воздушной оболочке Земли - температура воздуха с высотой повышается.

Известно, что с увеличением высоты температура воздуха понижается. Нагревшийся у земли воздух становится менее плотным и поднимается вверх, способствуя очищению городского воздуха от загрязняющих веществ в нижних слоях атмосферы. При обратном распределении температуры с высотой (в инверсионных условиях) ослабляются всплывание дымовых газов и турбулентный обмен, что ведет, в конечном итоге, к ухудшению рассеивания выбросов и накоплению вредных веществ в приземном слое с образованием смога. Начиная с осени, мощность инверсий растет и достигает максимум (440-460м) зимой.

Опасная скорость ветра в сочетании с неустойчивой стратификацией и интенсивным переносом примесей сверху вниз образует совокупность

неблагоприятных метеорологических условий, при которых наблюдается максимальное значение приземной концентрации вредных веществ  $c_m$ .

На характер перемещения и рассеивания в атмосфере вредных веществ, выбрасываемых с дымовыми газами, влияет также температура окружающего атмосферного воздуха. Повышение температуры воздуха с высотой приводит к тому, что выбросы из труб не могут подниматься выше определенного уровня “потолка”. Поэтому расчеты приземных концентраций обязательно проводят при средней максимальной температуре наиболее жаркого месяца года, используя данные климатических наблюдений в районе предприятия.

При расчётах рассеивания вредных веществ в атмосфере, используется методика [9].

4.1 Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества  $c_m$  (мг/м<sup>3</sup>) при 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

$$c_m = \frac{AMFmnh}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}, \quad (4.1)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;

$M$  (г/с) – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени; для веществ, обладающих суммацией вредного действия, приведенная к одному веществу суммарная концентрация  $c$  рассчитывается с использованием для каждого источника значения мощности  $M_c$ , где

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

где  $M_1, M_2, \dots, M_n$  – мощности выброса каждого из  $n$  веществ;

$\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$  – максимально разовые предельно допустимые концентрации этих веществ;

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

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

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

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

$\Delta T$  (°C) – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси  $T_2$  и температурой окружающего атмосферного воздуха  $T_a$ ;

$V_1$  (м<sup>3</sup>/с) – расход газовой смеси, определяемый по формуле

$$V_1 = \frac{\rho D^2}{4} w_0, \quad (4.2)$$

где  $D$  (м) - диаметр устья источника выброса;

$w_0$  (м/с) - средняя скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса в расчётных условиях.

4.2 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 и Читинской областей;

б) 200 - для Европейской части территории СНГ: для районов РФ южнее 50° с.ш., для остальных районов Нижнего Поволжья, Кавказа, Молдавии; для Азиатской территории СНГ: для Казахстана, Дальнего Востока и остальной территории Сибири и Средней Азии;

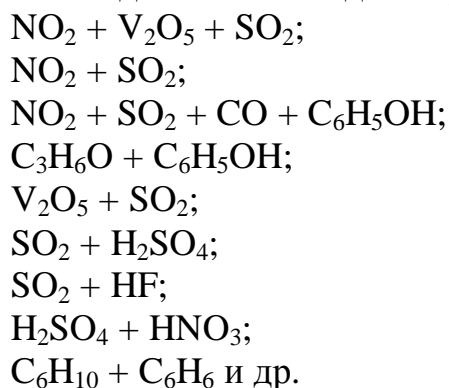
в) 180 - для Европейской части территории СНГ и Урала от 50 до 52° с.ш. за исключением попадающих в эту зону перечисленных выше районов и Украины;

г) 160 - для Европейской территории СНГ и Урала севернее 52° с.ш., а также для Белоруссии и 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.

4.3 Значения мощности выброса  $M$  (г/с) и расхода газовой смеси  $V_1$  (м<sup>3</sup>/с) при проектировании предприятий определяются расчетом в п. 4.1. Значение  $M$  следует относить к 20-30-минутному периоду осреднения, в том числе и в случаях, когда продолжительность выброса менее 20 мин.

При совместном присутствии в воздухе эффектом суммации вредного воздействия обладают группы веществ:



4.4 При определении значения  $\Delta T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) следует принимать температуру окружающего атмосферного воздуха  $T_e$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), равной средней максимальной температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца года по [10], а температуру выбрасываемой в атмосферу газовой смеси  $T_2$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) – по действующим для данного производства технологическим нормативам (см. задание).

Для котельных, работающих по отопительному графику, допускается при расчетах принимать значения  $T_e$ , равными средним температурам наружного воздуха за самый холодный месяц по [10].

4.5 Значение безразмерного коэффициента  $F$  принимается:

- а) для газообразных вредных веществ и мелкодисперсных аэрозолей, скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю, = 1;
- б) для мелкодисперсных аэрозолей (кроме указанных в п. 4.5а) при среднем эксплуатационном коэффициенте очистки выбросов не менее 90 %, = 2; от 75 до 90 %, = 2,5; менее 75 % и при отсутствии очистки, = 3.

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

4.6 Значения коэффициентов  $m$  и  $n$  определяются в зависимости от параметров  $f$ ,  $v_m$ ,  $v'_m$  и  $f_e$ .

$$f = 1000 \frac{w_0^2 D}{H^2 \Delta T}, \quad (4.3)$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}}, \quad (4.4)$$



$$v'_m = 1,3 \frac{w_0 D}{H}, \quad (4.5)$$

$$f_e = 800(v'_m)^3, \quad (4.6)$$

Коэффициент  $m$  определяется в зависимости от  $f$  по формулам

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} \text{ при } f < 100, \quad (4.7a)$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \text{ при } f \geq 100, \quad (4.7b)$$

Для  $f_e < f < 100$  значение коэффициента  $m$  вычисляется при  $f = f_e$ .

Коэффициент  $n$  при  $f < 100$  определяется в зависимости от  $v_m$  по формулам

$$n = 1 \text{ при } v_m \geq 2, \quad (4.8a)$$

$$n = 0,532v_m^2 - 2,13v_m + 3,13 \text{ при } 0,5 \leq v_m < 2, \quad (4.8b)$$

$$n = 4,4v_m \text{ при } v_m < 0,5, \quad (4.8b)$$

При  $f \geq 100$  или  $\Delta T \approx 0$  коэффициент  $n$  вычисляется по п. 4.7.

4.7 Для  $f \geq 100$  (или  $\Delta T \approx 0$ ) и  $v'_m \geq 0,5$  (холодные выбросы) при расчете  $c_m$  вместо формулы (4.1) используется формула

$$c_m = \frac{AMFnh}{H^{4/3}} K, \quad (4.9)$$

где

$$K = \frac{D}{8V_1} = \frac{1}{7,1\sqrt{w_0V_1}}, \quad (4.10)$$

причем  $n$  определяется по формулам (4.8a)-(4.8b) при  $v_m = v'_m$ .

Аналогично при  $f < 100$  и  $v_m < 0,5$  или  $f \geq 100$  и  $v'_m < 0,5$  (случаи предельно малых опасных скоростей ветра) расчет  $c_m$  вместо (4.1) производится по формуле

$$c_m = \frac{AMFm'h}{H^{7/3}}, \quad (4.11)$$

где

$$m' = 2,86m \text{ при } f < 100, v_m < 0,5, \quad (4.12a)$$

$$m' = 0,9 \text{ при } f \geq 100, v'_m < 0,5, \quad (4.12б)$$

4.8 Расстояние  $x_m$  (м) от источника выбросов, на котором приземная концентрация  $c$  (мг/м<sup>3</sup>) при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения  $c_m$ , определяется по формуле

$$x_m = \frac{5-F}{4} dH, \quad (4.13)$$

где безразмерный коэффициент  $d$  при  $f < 100$  находится по формулам

$$d = 2,48 \left(1 + 0,28 \sqrt[3]{f_e}\right) \text{ при } v_m \leq 0,5, \quad (4.14a)$$

$$d = 4,95 v_m \left(1 + 0,28 \sqrt[3]{f}\right) \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2, \quad (4.14б)$$

$$d = 7 \sqrt{v_m} \left(1 + 0,28 \sqrt[3]{f}\right) \text{ при } v_m > 2, \quad (4.14в)$$

При  $f > 100$  или  $\Delta T \approx 0$  значение  $d$  находится по формулам

$$d = 5,7 \text{ при } v'_m \leq 0,5, \quad (4.15a)$$

$$d = 11,4 v'_m \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2, \quad (4.15б)$$

$$d = 16 \sqrt{v'_m} \text{ при } v'_m > 2, \quad (4.15в)$$

4.9 Значение опасной скорости  $u_m$  (м/с) на уровне флюгера (10 м от уровня земли), при которой достигается наибольшее значение приземной концентрации вредных веществ  $c_m$ , в случае  $f < 100$  определяется по формулам

$$u_m = 0,5 \text{ при } v_m \leq 0,5, \quad (4.16a)$$

$$u_m = v_m \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2, \quad (4.16б)$$

$$u_m = v_m (1 + 0,12\sqrt{f}) \text{ при } v_m > 2, \quad (4.16в)$$

При  $f > 100$  или  $\Delta T \approx 0$  значение  $u_m$  вычисляется по формулам

$$u_m = 0,5 \text{ при } v'_m \leq 0,5, \quad (4.17a)$$

$$u_m = v'_m \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2, \quad (4.17б)$$

$$u_m = 2,2v'_m \text{ при } v'_m > 2, \quad (4.17в)$$

4.10 Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества  $c_{ми}$  ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) при неблагоприятных метеорологических условиях и скорости ветра  $u$  ( $\text{м}/\text{с}$ ) любого румба, отличающейся от опасной скорости ветра  $u_m$  ( $\text{м}/\text{с}$ ), определяется по формуле

$$c_{ми} = r c_m, \quad (4.18)$$

где  $r$  - безразмерная величина, определяемая в зависимости от отношения  $u/u_m$  по формулам

$$r = 0,67(u/u_m) + 1,67(u/u_m)^2 - 1,34(u/u_m)^3 \text{ при } u/u_m \leq 1, \quad (4.19a)$$

$$r = \frac{3(u/u_m)}{2(u/u_m)^2 - (u/u_m) + 2} \text{ при } u/u_m > 1, \quad (2,19б)$$

4.11 Расстояние от источника выброса  $x_{ми}$  ( $\text{м}$ ), на котором при скорости ветра  $u$  и неблагоприятных метеорологических условиях приземная концентрация вредных веществ достигает максимального значения  $c_{ми}$  ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ), определяется по формуле

$$x_{ми} = p x_m, \quad (4.20)$$

где  $p$  - безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения  $u/u_m$  по формулам

$$p = 3 \text{ при } u/u_m \leq 0,25, \quad (4.21a)$$

$$p = 8,43(1 - u/u_m)^3 + 1 \text{ при } 0,25 < u/u_m \leq 1, \quad (4.21б)$$

$$p = 0,32u/u_m + 0,68 \text{ при } u/u_m > 1, \quad (4.21в)$$

4.12 При опасной скорости ветра  $u_m$  приземная концентрация вредных веществ  $c$  ( $\text{мг/м}^3$ ) в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях  $x$  (м) от источника выброса определяется по формуле

$$c = s_1 c_m, \quad (4.22)$$

где  $s_1$  - безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения  $x/x_m$  и коэффициента  $F$  по формулам

$$s_1 = 3(x/x_m)^4 - 8(x/x_m)^3 + 6(x/x_m)^2 \text{ при } x/x_m \leq 1, \quad (4.23a)$$

$$s_1 = \frac{1,13}{0,13(x/x_m)^2 + 1} \text{ при } 1 < x/x_m \leq 8, \quad (4.23б)$$

$$s_1 = \frac{x/x_m}{3,58(x/x_m)^2 - 35,2(x/x_m) + 120} \text{ при } F \leq 1,5 \text{ и } x/x_m > 8, \quad (4.24a)$$

$$s_1 = \frac{1}{0,1(x/x_m)^2 + 2,47(x/x_m) - 17,8} \text{ при } F > 1,5 \text{ и } x/x_m > 8, \quad (4.24б)$$

Аналогично определяется значение концентрации вредных веществ на различных расстояниях по оси факела при других значениях скоростей ветра  $u$  и неблагоприятных метеорологических условиях. По формулам (4.18), (4.20) определяются значения величин  $c_{ми}$  и  $x_{ми}$ . В зависимости от отношения  $x/x_{ми}$  определяется значение  $s_1$  по формулам (4.23), (4.24). Искомое значение концентрации вредного вещества определяется путем умножения  $c_{ми}$  на  $s_1$ .

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

$$c_y = s_2 c, \quad (4.25)$$

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

$$t_y = \frac{u y^2}{x^2} \quad \text{при } u \leq 5, \quad (4.26a)$$

$$t_y = \frac{5 y^2}{x^2} \quad \text{при } u > 5, \quad (4.26б)$$

по формуле

$$s_2 = \frac{1}{\left(1 + 5t_y + 12,8t_y^2 + 17t_y^3 + 45,1t_y^4\right)^2}, \quad (4.27)$$

4.14 Максимальная концентрация  $c_{mx}$  (мг/м<sup>3</sup>), достигающаяся на расстоянии  $x$  от источника выброса из оси факела при скорости ветра  $u_{mx}$ , определяется по формуле

$$c_{mx} = s'_1 c_m, \quad (4.28)$$

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

$$s_1 = 3(x/x_m)^4 - 8(x/x_m)^3 + 6(x/x_m)^2 \quad \text{при } x/x_m \leq 1, \quad (4.29a)$$

$$s'_1 = \frac{1,1}{0,1(x/x_m)^2 + 1} \quad \text{при } 1 < x/x_m \leq 8, \quad (4.29б)$$

$$s_1 = \frac{2,55}{0,13\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 + 1} \quad \text{при } 8 < \frac{x}{x_m} \leq 24, \quad (4.29в)$$

$$s'_1 = \frac{x/x_m}{4,75 \left( \frac{x}{x_m} \right)^2 - 140 \frac{x}{x_m} + 1435} \quad \text{при } 24 < \frac{x}{x_m} \leq 80 \text{ и } F \leq 1,5, \quad (4.29\text{г})$$

$$s'_1 = \frac{2,26}{0,1 \left( \frac{x}{x_m} \right)^2 + 7,41 \frac{x}{x_m} - 160} \quad \text{при } 24 < \frac{x}{x_m} < 80 \text{ и } F > 1,5, \quad (4.29\text{д})$$

$$s'_1 = \frac{x/x_m}{3,58 \left( \frac{x}{x_m} \right)^2 - 35,2 \frac{x}{x_m} + 120} \quad \text{при } \frac{x}{x_m} > 80 \text{ и } F \leq 1,5, \quad (4.29\text{е})$$

$$s'_1 = \frac{1}{0,1 \left( \frac{x}{x_m} \right)^2 + 2,47 \frac{x}{x_m} - 178} \quad \text{при } \frac{x}{x_m} > 80 \text{ и } F > 1,5, \quad (4.29\text{ж})$$

Скорость ветра  $u_{mx}$  при этом рассчитывается по формуле

$$u_{mx} = f_1 u_m, \quad (4.30)$$

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

$$f_1 = 1 \quad \text{при } x/x_m \leq 1, \quad (4.31\text{а})$$

$$f_1 = \frac{0,75 + 0,25 x/x_m}{1 + (x/9x_m)^3} \quad \text{при } 1 < x/x_m \leq 8, \quad (4.31\text{б})$$

$$f_1 = 0,25 \quad \text{при } 8 < x/x_m < 80, \quad (4.31\text{в})$$

$$f_1 = 1 \quad \text{при } x/x_m \geq 80, \quad (4.31\text{г})$$

Пример расчета концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе в районе источников их выброса при неблагоприятных метеорологических условиях.

Котельная (ровная открытая местность, Новосибирская область).

№ п/п	Характеристики, обозначения, расчет	Единица	Значение
1	Число дымовых труб, $N$	шт.	1
2	Высота дымовых труб, $H$	м	35
3	Диаметр устья трубы, $D$	м	1,4
4	Скорость выхода газовой смеси, $w_0$	м/с	7
5	Температура газовой смеси, $T_2$	°С	125
6	Температура окружающего воздуха, $T_6$	°С	25
7	Выброс двуокиси серы, $M_{SO_2}$	г/с	12
8	Выброс золы, $M_3$	г/с	2,6
9	Выброс окислов азота (в пересчете на двуокись азота), $M_{NO_2}$	г/с	0,2
10	Коэффициенты в <a href="#">формуле 4.1</a> $A$ $h$	- -	200 1
11	Максимальные разовые предельно допустимые концентрации (ПДК): двуокиси серы золы окислов азота	мг/м <sup>3</sup> мг/м <sup>3</sup> мг/м <sup>3</sup>	0,5 0,3 0,25
12	Объем газовой смеси ( <a href="#">по формуле (4.2)</a> ): $V_1 = \frac{P \cdot 1,4^2}{4} \cdot 7$	м <sup>3</sup> /с	10,8
13	Перегрев газовой смеси, $\Delta T$ : $\Delta T = T_2 - T_6 = 125 - 25$	°С	100
14	Параметр $f$ ( <a href="#">по формуле (4.3)</a> ): $f = 1000 \frac{7^2 \cdot 1,4}{35^2 \cdot 100}$	-	0,56
15	Параметр $v_m$ ( <a href="#">по формуле (4.4)</a> ): $v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{10,8 \cdot 100}{35}}$	м/с	2,04; $v_m \geq 2$
16	Параметр $v'_m$ ( <a href="#">по формуле (4.5)</a> ): $v'_m = \frac{1,3 \cdot 7 \cdot 1,4}{35}$	-	0,36
17	Параметр $f_c$ ( <a href="#">по формуле (4.6)</a> ): $f_c = 800(0,36)^3$	-	37,32; $f_c < 100$
18	Параметр $m$ ( <a href="#">по формуле (4.7a)</a> )	-	0,98
19	Параметр $n$ ( <a href="#">по формуле (4.8a)</a> )	-	1
20	Опасная скорость ветра $u_m$ (по формуле <a href="#">(4.16в)</a> , $v_m > 2$ ): $u_m = 2,04 \left( 1 + 0,12 \sqrt{0,56} \right)$	м/с	2,2
21	Параметр $d$ (по формуле <a href="#">(4.14в)</a> , $v_m > 2$ ): $d = 7 \sqrt{2,04} \left( 1 + 0,28 \sqrt[3]{0,56} \right)$	-	12,3
<b>Расчет концентрации двуокиси серы</b>			
22	Максимальная концентрация SO <sub>2</sub> (по формуле <a href="#">(4.1)</a> ): $c_m^{SO_2} = \frac{200 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 0,98 \cdot 1 \cdot 1}{35^2 \sqrt[3]{10,8 \cdot 100}}$	мг/м <sup>3</sup>	0,19
23	Расстояние $x_m^{SO_2}$ (по формуле <a href="#">(4.13)</a> ): $x_m^{SO_2} = 12,3 \cdot 35$	м	430
24	Коэффициент $s_1$ для расстояния $x$ (по формулам <a href="#">(4.23a)</a> , <a href="#">(4.23б)</a> ): $x = 50$ м, $x/x_m = 0,116$ (ф. (4.23a)) $x = 100$ м, $x/x_m = 0,256$ (ф. (4.23a)) $x = 200$ м, $x/x_m = 0,465$ (ф. (4.23a)) $x = 400$ м, $x/x_m = 0,93$ (ф. (4.23a))	- - - -	0,069 0,232 0,633 1

№ п/п	Характеристики, обозначения, расчет	Единица	Значение
25	$x = 1000 \text{ м}, x/x_m = 2,32$ (ф. (4.23б))	-	0,664
	$x = 3000 \text{ м}, x/x_m = 6,97$ (ф. (4.23б))	-	0,154
	Концентрация $c^{SO_2}$ на расстоянии $x$ по формуле (4.22)		
	$x = 50 \text{ м}, c = 0,19 \cdot 0,069$	мг/м <sup>3</sup>	0,01
	$x = 100 \text{ м}, c = 0,19 \cdot 0,232$	мг/м <sup>3</sup>	0,04
	$x = 200 \text{ м}, c = 0,19 \cdot 0,633$	мг/м <sup>3</sup>	0,12
	$x = 400 \text{ м}, c = 0,19 \cdot 1$	мг/м <sup>3</sup>	0,19
	$x = 1000 \text{ м}, c = 0,19 \cdot 0,664$	мг/м <sup>3</sup>	0,13
	$x = 3000 \text{ м}, c = 0,19 \cdot 0,154$	мг/м <sup>3</sup>	0,03
<b>Расчет концентрации окислов азота</b>			
26	Расчет $c^{NO_2}$ производится аналогично расчету $c^{SO_2}$ .		
	Концентрации $c^{NO_2}$ и $c^{SO_2}$ связаны соотношением (см. формулу (4.1)):		
	$c^{NO_2} = c^{SO_2} \frac{M^{NO_2}}{M^{SO_2}} = 0,017 c^{SO_2}$		
<b>Расчет концентрации золы</b>			
27	Золоочистка отсутствует. Коэффициент $F$ (согласно п. 4.5)	-	3
	Максимальная концентрация золы по формуле (4.1) или по соотношению:		
	$c_m^z = c_m^{SO_2} \frac{M_z}{M_{SO_2}} F = \frac{0,19 \cdot 2,6 \cdot 3}{12}$	мг/м <sup>3</sup>	0,12
28	Расстояние $x_m^z$ по формуле (4.13) или по соотношению:		
	$x_m^z = x_m^{SO_2} \frac{5 - F}{4} = 430 \cdot \frac{5 - 3}{4}$	м	215
29	Коэффициент $s_1$ для расстояний $x$ (по формулам (4.23а) - (4.24б) или рис. 4.7 и 4.8).		
	$x = 50 \text{ м}, x/x_m = 0,233$ (ф. (4.23а))	-	0,232
	$x = 100 \text{ м}, x/x_m = 0,465$ (ф. (4.23а))	-	0,633
	$x = 200 \text{ м}, x/x_m = 0,93$ (ф. (4.23а))	-	1,0
	$x = 400 \text{ м}, x/x_m = 1,86$ (ф. (4.23б))	-	0,78
	$x = 1000 \text{ м}, x/x_m = 4,05$ (ф. (4.23б))	-	0,296
	$x = 3000 \text{ м}, x/x_m = 13,9$ (ф. (4.24б))	-	0,028
30	Концентрация золы $c^z$ на расстоянии $x$ (по формуле (4.22)):		
	$x = 50 \text{ м}, c = 0,12 \cdot 0,23$	мг/м <sup>3</sup>	0,03
	$x = 100 \text{ м}, c = 0,12 \cdot 0,632$	мг/м <sup>3</sup>	0,08
	$x = 200 \text{ м}, c = 0,12 \cdot 0,99$	мг/м <sup>3</sup>	0,12
	$x = 400 \text{ м}, c = 0,12 \cdot 0,78$	мг/м <sup>3</sup>	0,09
	$x = 1000 \text{ м}, c = 0,12 \cdot 0,296$	мг/м <sup>3</sup>	0,04
	$x = 3000 \text{ м}, c = 0,12 \cdot 0,028$	мг/м <sup>3</sup>	0,003

**Расчёт приземных концентраций вредных веществ и построение картины рассеивания их в атмосфере студенту предлагается выполнить для трёх доминирующих в выбросах веществ.** Так как выполнение расчётов вручную весьма трудоёмко, необходимо воспользоваться возможностями ЭВМ и специальным программным обеспечением.

Перед выполнением расчётов необходимо составить табл. 4.1 и 4.2.



Таблица 4.1

Наименование объекта	
Коэффициент стратификации атмосферы, $A$	
Коэффициент рельефа местности, $\eta$	
Средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца $T_{max}$ , °С	
Средняя температура наиболее холодного периода $T_{хол}$ , °С	
Среднегодовая скорость ветра, м/с	
Высота трубы $H$ , м	
Диаметр устья трубы $D$ , м	
Объёмный расход газов $V$ , м <sup>3</sup> /с	
Температура газов $T_2$ , °С	
Параметры расчётного прямоугольника:	
- длина стороны $L$ , м	
- шаг сетки $\Delta L$ , м	
Координаты источника выбросов:	
- $X$	
- $Y$	

Таблица 4.2

Наименование вредного вещества	Код вещества	ПДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Коэффициент оседания $F$	Массовый расход вредного вещества $M$ , г/с

Также следует учесть групповое действие вредных веществ, обладающих эффектом суммации [7].

На основании анализа результатов расчета, с учётом среднегодовой розы ветров, необходимо выбрать общее наиболее благоприятное направление для рассеивания всех вредных веществ. При прочих равных условиях предпочтение следует отдавать направлению с меньшей повторяемостью ветра. Расположение промышленного предприятия относительно города должно учитывать наименьшую вероятность загрязнения последнего. Если предположить, что город находится в центре розы ветров, то источник загрязнения воздушного бассейна должен находиться со стороны минимальной повторяемости ветра.

**Для выбранного направления «предприятие – жилой массив» студент должен вычертить схему изменения приземной концентрации одного доминирующего вредного вещества, аналогичную показанной на рисунке 4.1. Расчёты значений приземных концентраций необходимо выполнить вручную.**

Основным средством для соблюдения ПДК вредных веществ является установление нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) в атмосферу. Предельно допустимый выброс вредных веществ в атмосферу (ПДВ) устанавливается для каждого источника загрязнения атмосферы таким образом, что выбросы вредных веществ от данного источника и от совокупности источников города или другого населенного пункта с учетом перспективы развития промышленных предприятий не создают приземную концентрацию, превышающую их ПДК для населения, растительного и животного мира [11].

Установление ПДВ производится с применением методов расчета загрязнения атмосферы промышленными выбросами, и с учетом перспектив развития предприятия, физико-географических и климатических условий местности, расположения промышленных площадок и участков существующей и проектируемой жилой застройки, санаториев, зон отдыха городов, взаимного расположения промышленных площадок и селитебных территорий.

Нормативы ПДВ устанавливаются на основании расчета приземных концентраций и сопоставления результатов расчета с ПДК. Величина ПДВ определяется в виде массы выбросов в единицу времени, в граммах в секунду.

ПДВ устанавливаются для условий полной загрузки технологического и газоочистного оборудования.

Наряду с ПДВ для одиночных источников устанавливаются ПДВ для предприятия в целом. При постоянстве выбросов они находятся как сумма ПДВ от одиночных источников и групп мелких источников (вентиляционные выбросы из одного производственного помещения, от установки, расположенной в помещении или на открытом воздухе и т.п.). ПДВ определяется для каждого вещества отдельно, в том числе и в случаях учета суммации вредного действия нескольких веществ.

При установлении ПДВ учитываются фоновые концентрации  $c_{\phi}$ . Информацию о фоновых концентрациях загрязняющих веществ в атмосферном воздухе необходимо запрашивать в установленном порядке в органах МПР. Ориентировочные значения фоновых концентраций соответствующих вредных веществ можно рассчитать по формулам  $c_{\phi,i} = 0,1 \cdot \text{ПДК}_{\text{м.р.}i}$  или  $c_{\phi,i} = 0,5 \cdot \text{ПДК}_{\text{с.с.}i}$ .

При установлении ПДВ и фоновой концентрации вредных веществ  $c_{\phi}$  их значения относятся к тому же временному интервалу осреднения, что и ПДК<sub>м.р.</sub>.

Проект нормативов ПДВ разрабатывается 1 раз в 5 лет, на практике его обновляют через 2-3 года, так как меняется перспектива развития или устанавливают дополнительные агрегаты, изменяют состав сырья или топлива.

Основными этапами расчета ПДВ являются: разработка и согласование плана-графика работ; инвентаризация источников выбросов вредных веществ; расчет рассеивания выбросов с целью определения степени загрязнения атмосферы; разработка мероприятий по уменьшению выбросов и оценка их экологической эффективности; разработка мероприятий по регулированию выбросов при наступлении кратковременных периодов неблагоприятных метеоусловий; организация контроля за соблюдением установленных значений нормативов допустимых выбросов.

Для разработки нормативов ПДВ необходимо подготовить исходные данные: характеристику и параметры источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, газоочистных и пылеулавливающих установок; карту-схему предприятия; сведения о неорганизованных, залповых и аварийных выбросах; о фоновых концентрациях вредных веществ в данном населенном пункте; метеорологические характеристики и коэффициенты, определяющие условия рассеивания загрязняющих веществ, и др. [8].

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

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - c_{\phi}) H^2}{A F m n h} \sqrt[3]{V_1 \Delta T}, \quad (4.32)$$

В случае  $f \geq 100$  или  $DT \approx 0$  ПДВ определяется по формуле

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - c_{\phi}) H^{4/3}}{A F n h} \cdot \frac{8V_1}{D}, \quad (4.33)$$

Величины в формулах (4.32), (4.33) те же, что в формулах (4.1)-(4.11).

Значение ПДВ для источника с прямоугольным устьем определяется по тем же формулам, но при  $D = D_{\text{экв}}$  и  $V_1 = V_{\text{экв}}$ .

При установлении ПДВ для одиночного источника выброса смеси постоянного состава веществ с суммирующимся вредным действием сначала определяется вспомогательное значение суммарного ПДВ = ПДВ<sub>с</sub>, приведенного к выбросу одного из веществ. Для этого в формулах (4.32), (4.33) используется ПДК данного вещества и суммарный фон  $c_{\phi}$ , приведенный к этому же веществу. Затем с учетом состава выбросов определяются ПДВ отдельных вредных веществ.

Установлению ПДВ для отдельного источника предшествует определение его **зоны влияния**, радиус которой приближенно оценивается как наибольшее из двух расстояний от источника:  $x_1$  и  $x_2$  (м), где  $x_1 = 10x_m$  (при этом  $x_1$  соответствует расстоянию, на котором  $c$  составляет 5 % от  $c_m$ ). Значение  $x_2$  определяется как расстояние от источника, начиная с которого  $c \leq 0,05$  ПДК<sub>м.р.</sub>. Значение  $x_2$  при ручных расчетах находится графически с использованием рис. 4.2 как расстояние  $x$  за максимумом, соответствующее  $s_1 = 0,05$  ПДК<sub>м.р.}/ $c_m$ . При  $c_m \leq 0,05$  ПДК<sub>м.р.</sub> значение  $x_2$  полагается равным нулю.</sub>

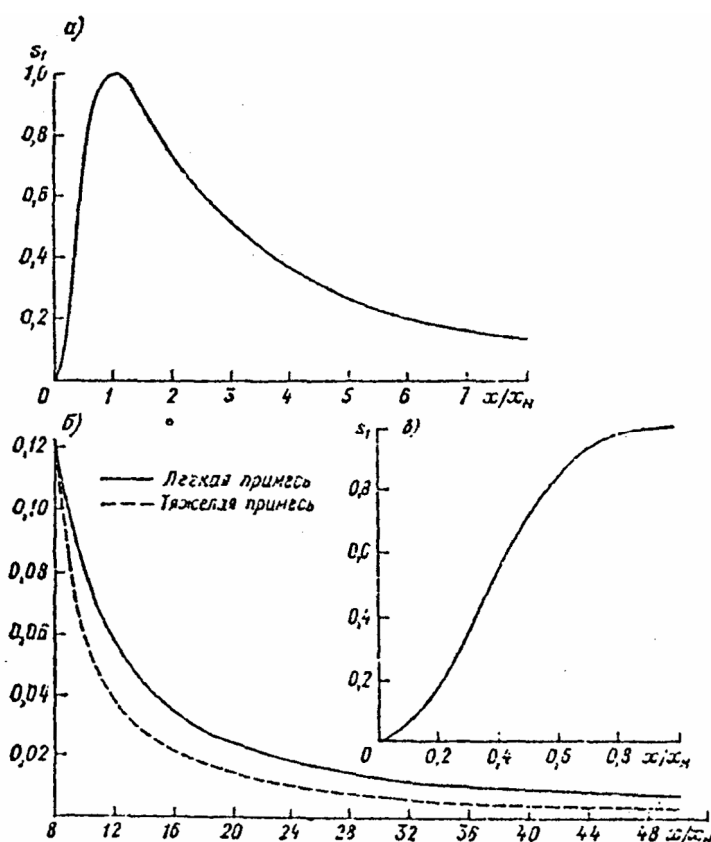


Рисунок 4.2.

Для предприятий также устанавливаются зоны влияния, включающие в себя круги радиусом  $x_1$ , проведенные вокруг каждой из труб предприятия, и участки местности, где рассчитанное на ЭВМ суммарное загрязнение атмосферы от всей совокупности источников выброса данного предприятия, в том числе низких и неорганизованных выбросов, превышает  $0,05$  ПДК<sub>м.р.</sub>.

*Зоны влияния источников и предприятий рассчитываются по каждому вредному веществу и по комбинации веществ с суммирующимся вредным действием. За пределами зоны влияния соответствующего вредного вещества расчёт его приземных концентраций не требуется.*

Если на границе нормативной санитарно-защитной зоны предприятия (см. п.5) выполняется условие

$$c \leq \text{ПДК}_{\text{м.р.}}^{\text{атм.в.}} - c_{\phi}, \quad (4.34)$$

а на его территории  $c \leq 0,3 \cdot \text{ПДК}_{\text{м.р.}}^{\text{раб.з.}} - c_{\phi}$ ,

то масса выброса  $M$  может быть квалифицирована как ПДВ.

Если в воздухе города или других населенных пунктов концентрации вредных веществ (в т.ч. и фоновые) превышают ПДК, а значения ПДВ в настоящее время не могут быть достигнуты, предусматривается поэтапное снижение выбросов вредных веществ до значений ПДВ, обеспечивающих достижение ПДК, или до полного предотвращения выбросов. На каждом этапе до обеспечения значений ПДВ устанавливаются лимиты на выбросы с учетом значений выбросов предприятий с наилучшей (в части охраны окружающей среды) достигнутой технологией производства, в период действия природоохранного мероприятия и др. При установлении лимитов следует пользоваться теми же приемами расчета, что и при установлении ПДВ.

Значения лимитов, так же как и ПДВ, устанавливаются для источников и для предприятия в целом.

Для вновь проектируемых предприятий (объектов) значения лимитов на выбросы не устанавливаются.

Периодичность контроля соблюдения нормативов ПДВ устанавливается для предприятий по их категории опасности следующая:

- 1 категория - 1 раз в квартал, при каждом режиме выброса из источника, учтенном при разработке проекта ПДВ;
- 2 категория - 2-3 раза в год, при каждом режиме выброса из источника, учтенном при разработке проекта ПДВ;
- 3 категория - 1 раз в год;
- 4 категория - 1 раз в пять лет.

Контроль соблюдения нормативов ПДВ проводится непосредственно на источниках выбросов, по фактическому загрязнению атмосферного воздуха на специально выбранных контрольных точках (постах) МПР или постах, установленных предприятием по согласованию с местными органами МПР, установленных на границе санитарно-защитной зоны или в жилой зоне района города, в котором расположено предприятие [8]. Контроль соблюдения нормативов ПДВ по фактическому загрязнению атмосферного воздуха на специально выбранных контрольных точках рекомендуется для крупных предприятий 1-ой категории с большим количеством источников неорганизованных выбросов.

В соответствии с формулировкой понятия ПДВ от конкретного источника, он в сумме с выбросами других источников города не должен превышать значения ПДК. Таким образом возможны различные варианты норм ПДВ для данного источника выбросов.

Количество таких вариантов может быть весьма большим и определяется числом возможных сочетаний атмосфероохранных мероприятий и уровней снижения выбросов на каждом из источников города, обеспечивающих достижение ПДК. Это означает, что поскольку стоимости мероприятий различаются существенно, объем капиталовложений, необходимый для достижения ПДВ, может в вариантах различаться на порядки. Несомненно, что для практической реализации нужен не любой вариант, а наиболее экономичный.

Однако в действующих нормативных документах, определяющих порядок снижения выбросов до ПДВ, не предусмотрены правила выбора наиболее экономичных решений. В соответствии с [11] мероприятия по снижению атмосферного загрязнения назначаются внутри каждого ведомства. Предприятия и их генпроектировщики либо головные ведомственные организации практически произвольно выбирают себе в токсичном фоне города определенную долю при установлении ведомственного значения ПДВ и планировании атмосфероохранных мероприятий для достижения этой нормы. Затем региональный орган МПР также произвольно корректирует ведомственные значения ПДВ и после этого утверждает их для всех объектов города.

Таким образом, несмотря на межотраслевую суть самого понятия ПДВ, действующая методика определения ПДВ основана на ведомственном подходе и не содержит указаний о порядке эколого-экономического обоснования мероприятий. В результате заданный экологический эффект обеспечивается не при минимальных затратах финансовых и материальных ресурсов. В связи с этим со стороны центров по контролю загрязнения природной среды МПР и органов Минздрава к объектам предъявляются требования по снижению выбросов, которые нельзя признать обоснованными, поскольку они ориентированы, как правило, только на вклад в валовой выброс.

Для выбора научно обоснованных решений, удовлетворяющих интенсивным методам хозяйствования в области охраны воздушного бассейна, нормативные документы должны быть дополнены правилами определения оптимальных вариантов атмосфероохранных мероприятий.

В общем виде цель может быть сформулирована следующим образом: определить, какие мероприятия, в каком объеме и на каких источниках города должны быть реализованы, чтобы санитарный норматив был обеспечен при максимуме экономического эффекта.

К технически возможным атмосфероохранным мероприятиям относятся: установка очистных сооружений, внедрение малоотходных или энергосберегающих технологий, замена топлива, переход с мелких на крупные источники централизованного теплоснабжения, режимно-наладочные мероприятия, усиление рассеивающего эффекта, а в некоторых случаях даже вынос или передислокация производства, если иные меры не обеспечивают норматива загрязнения. На этом же этапе рассчитываются последствия реализации каждого мероприятия: снижаемый выброс и ущерб, экономический эффект, потребность в финансовых и материальных ресурсах.

## 5 РАСЧЁТ РАЗМЕРА САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ

Для предприятий, их отдельных зданий и сооружений с технологическими процессами, являющимися источниками производственных вредностей, назначается санитарная классификация [13], предусматривающая меры по уменьшению неблагоприятного влияния этих источников. Для них должна быть организована санитарно-защитная зона, ширина которой определяется санитарным классом.

Территория санитарно-защитной зоны предназначена для:

- обеспечения снижения уровня воздействия до требуемых гигиенических нормативов по всем факторам воздействия за ее пределами;
- создания санитарно-защитного барьера между территорией предприятия (группы предприятий) и территорией жилой застройки;
- организации дополнительных озелененных площадей, обеспечивающих экранирование, ассимиляцию и фильтрацию загрязнителей атмосферного воздуха, и повышение комфортности микроклимата.

Размеры санитарно-защитной зоны (СЗЗ)  $L_0$  (м), установленные в [13], должны проверяться расчетом загрязнения атмосферы в соответствии с требованиями [9] с учетом перспективы развития предприятия и фактического загрязнения атмосферного воздуха.

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

$$l = L_0 \frac{P}{P_0}, \quad (5.1)$$

где  $l$  – определяемая величина размера СЗЗ;

$L_0$  – участок местности в направлении от источника выбросов, где концентрация вредных веществ (с учетом фоновой концентрации) превышает ПДК (уточняется в соответствии с санитарным классом предприятия по [13] после построения карт рассеивания и проверки условия (4.34));

$P$ , % – среднегодовая повторяемость направления ветров рассматриваемого румба [10];

$P_0$ , % – повторяемость направлений ветров одного румба при круговой розе ветров. Например, при восьмирумбовой розе ветров  $P_0 = \frac{100}{8} = 12,5$  %. Значения  $l$  и  $L_0$  отсчитываются от границы



промпредприятия при наличии организованных и неорганизованных источников и оборудования на открытых площадках, и от источника выбросов в случае наличия только высоких источников нагретых выбросов.

При корректировке ширины СЗЗ с учетом преобладающих направлений ветра ( $P > 12,5\%$ ) запрещается ее сокращение по направлениям, имеющим  $P < 12,5\%$ .

В зависимости от характера и количества выбросов установлено пять классов предприятий с шириной санитарно-защитной зоны от 1000 до 50 м. Размер СЗЗ устанавливается:

а) для предприятий с технологическими процессами, - источниками загрязнения атмосферного воздуха вредными и неприятнопахнущими веществами, - непосредственно от источника загрязнения атмосферы (организованного – труба, вентиляционная шахта; неорганизованного - места загрузки сырья или открытые склады);

б) для тепловых электростанций, производственных и отопительных котельных - от дымовых труб.

В соответствии с [13] устанавливаются следующие размеры санитарно-защитной зоны:

Класс предприятия	I	II	III	IV	V
Расстояние, м	1000	500	300	100	50

В соответствии с расчётом категории опасности предприятия (см. п.3 настоящих методических указаний) определяется предварительная ширина СЗЗ. Для предприятий с КОП = 0 устанавливается ширина СЗЗ, соответствующая V классу по СанПиН. Для других предприятий в СанПиН [13] установлены следующие размеры СЗЗ:

**Класс II - санитарно-защитная зона 500 м.**

Производство по выплавке чугуна при общем объеме доменных печей от 500 до 1500 м<sup>3</sup>.

Производство стали мартеновским, электроплавильным и конверторным способами с цехами по переработке отходов при выпуске основной продукции в количестве до 1 млн. т/год.

Предприятия автомобильной промышленности.

Производство вагонов с литейным и покрасочным цехами.

ТЭЦ и районные котельные тепловой мощностью 200 Гкал и выше, работающие на угольном и мазутном топливе.

**Класс III - санитарно-защитная зона 300 м.**

Производство чугуна фасонного литья в количестве от 20 до 100 тыс. т/год.

Производство по выплавке чугуна при общем объеме доменных печей менее 500 м<sup>3</sup>.

Производство древесностружечных плит, древесноволокнистых плит с использованием в качестве связующих синтетических смол.

Деревообрабатывающее производство.

#### **Класс IV - санитарно-защитная зона 100 м.**

Производство чугунолитейного фасонного литья в количестве от 10 до 20 тыс. т/год.

Производство машин и приборов электротехнической промышленности (динамомашин, конденсаторов, трансформаторов, прожекторов и т.д.) при наличии небольших литейных и других горячих цехов.

Предприятия по ремонту дорожных машин, автомобилей, кузовов, подвижного состава железнодорожного транспорта и метрополитена

Машиностроительные предприятия с металлообработкой, покраской без литья.

Производства лесопильное, фанерное и деталей деревянных стандартных изделий.

Сборка мебели с лакировкой и окраской.

Если в соответствии с предусмотренными техническими решениями и расчетами загрязнения атмосферы размеры СЗЗ для предприятия получаются больше, чем размеры, установленные в [13], необходимо пересмотреть проектные решения и обеспечить выполнение требований [13] за счет уменьшения количества выбросов вредных веществ в атмосферу, увеличения высоты их выброса с учетом установленных ограничений и др.

Санитарно-защитная зона для предприятий и объектов может быть увеличена по следующим причинам:

- использование неэффективных методов очистки выбросов в атмосферу;
- отсутствие эффективных способов очистки выбросов;
- необходимость размещения жилой зоны с подветренной стороны по отношению к предприятию, в зоне возможного загрязнения атмосферы;
- в зависимости от розы ветров и других неблагоприятных метеорологических условий (частые штили, туманы и др.);
- строительство новых, еще недостаточно изученных в санитарном отношении производств.

Размеры санитарно-защитной зоны могут быть уменьшены при:

- достижении уровня техногенного воздействия на границе СЗЗ и за ее пределами в рамках и ниже нормативных требований по материалам

систематических (не менее чем годовых) лабораторных наблюдений за состоянием загрязнения воздушной среды (для вновь размещаемых предприятий возможен учет лабораторных данных объектов-аналогов);

- подтверждении замерами снижения уровней шума и других физических факторов в пределах жилой застройки ниже гигиенических нормативов;

- уменьшении мощности, изменении состава, перепрофилировании предприятия и связанным с этим изменением класса опасности.

Не допускается сокращение величины санитарно-защитной зоны для действующих предприятий на основании данных, полученных только расчетным путем. СЗЗ или какая-либо ее часть не могут рассматриваться как резервная территория объекта и использоваться для расширения промышленной или жилой территории без соответствующей обоснованной корректировки границ СЗЗ.

Номенклатура объектов допустимых и недопустимых к размещению на территории СЗЗ регламентируется по СанПиН [13].

Не допускается размещение в санитарно-защитной зоне коллективных или индивидуальных дачных и садово-огородных участков, спортивных сооружений, парков, детских и образовательных учреждений, лечебно-профилактических и оздоровительных учреждений общего пользования, оптовых складов продовольственного сырья, сооружений для подготовки и хранения питьевой воды.

Номенклатура объектов, допускаемых к размещению на территории СЗЗ в зависимости от ее ширины, приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1

**Номенклатура объектов, размещаемых на территории санитарно-защитных зон в зависимости от их ширины**

Наименование	при ширине зоны, м		
	до 300	300-1000	1000-3000
<i>Озеленение, благоустройство</i>			
Древесно-кустарниковые насаждения	+	+	+
Газоны, цветники	+	+	+
Питомники	-	-	+
Сельскохозяйственные культуры (технич.)	-	-	+
Площадки для отдыха работающих на предприятиях	+	+	+
<i>Транспортные сети</i>			
Автомобильные дороги, проезды	+	+	+

Развязки дорог на разных уровнях	–	–	+
Тротуары	+	+	+
Велосипедные дорожки	+	+	+
Стоянки автомотовелотранспорта	+	+	+
Железнодорожные пути	–	–	+
Вертолетные площадки	–	–	+
<i>Инженерные коммуникации</i>			
Сети инженерных коммуникаций	+	+	+
ЛЭП от 20 до 110 кВ	–	+	+
ЛЭП от 110 до 220 кВ	–	–	+
<i>Здания административно-служебного и научно-технического назначения</i>			
Административно-служебные здания промпредприятий	+	+	+
Здания научно-технического назначения при промпредприятиях	+	+	+
Помещения для аварийного персонала и охраны предприятий	+	+	+
Профтехучилища, техникумы	+	+	+
Павильоны стационарного наблюдения за загрязнением атмосферы	+	+	+
<i>Здания торгово-коммунального назначения</i>			
Торговые здания, киоски	+	+	+
Заводские столовые	+	+	+
Заводские поликлиники, амбулатории	+	+	+
Пожарное депо	+	+	+
Бани, прачечные	+	+	+
Гаражи	+	+	+
Котельные (на газовом топливе с обоснованием их размещения по расчету рассеивания)	–	+	+
Промтоварные склады, не выделяющие вредностей	–	+	+
Мелкие предприятия, не выделяющие производственных вредностей	–	+	+

Примечание: + размещение допустимо; – размещение недопустимо

## 6 РАСЧЁТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Экологический ущерб представляет собой стоимостное выражение негативного антропогенного воздействия на окружающую среду. Он равен сумме затрат на предотвращение воздействия загрязненной окружающей среды на реципиентов, и затрат, связанных с воздействием на реципиентов. В состав реципиентов входят: население, объекты жилищно-коммунального хозяйства, сельскохозяйственные угодья, лесные ресурсы, элементы основных фондов промышленности и транспорта, трудовые ресурсы.

Экологический ущерб может быть фактическим (расчётным), возможным и предотвращённым. Возможный ущерб – это ущерб, который мог быть в случае отсутствия природоохранных мероприятий. Под предотвращённым понимают разность между возможным и фактическим ущербами за определённый период времени.

При расчёте ущерба от отдельного источника загрязнения обычно рассматривают влияние на окружающую среду трёх наиболее распространённых ингредиентов – пыли,  $SO_2$ ,  $CO$  [16].

Ущерб, наносимый народному хозяйству, состоит из ряда отдельных ущербов, наносимых различным отраслям народного хозяйства и объектам:

- ущерб, причиняемый здравоохранению, вызванный повышенной заболеваемостью населения (оплата бюллетеней, затраты на медицинские услуги, потеря работоспособности и т.д.), – рассчитывается как сумма ущерба от воздействия всех трёх ингредиентов – пыли,  $SO_2$ ,  $CO$ ;
- ущерб, причиняемый сельскому и лесному хозяйству (потери продуктивности, ухудшение качества продукции сельского хозяйства и т.д.), – рассчитывается как сумма ущерба от воздействия пыли и  $SO_2$ ;
- ущерб, причиняемый коммунальному хозяйству (дополнительные затраты на содержание и ремонт жилищного, коммунального хозяйства и городского транспорта, затраты на дополнительные бытовые услуги и т.д.), – рассчитывается как сумма ущерба от воздействия пыли и  $SO_2$ ;
- ущерб, причиняемый промышленным объектам (дополнительные затраты на ремонт зданий и сооружений, потери сырья, топлива, выход из строя производственного оборудования и т.д.), – рассчитывается как ущерб от воздействия  $SO_2$ .

Для выполнения расчёта весь загрязнённый район разбивают на зоны, причём число зон определяется годовой массой выбросов указанных

компонентов. Радиус I зоны от источника выбросов 1000 м, II зоны 1800 м, III зоны 3000 м, IV зоны 5000 м.

Удельные ущербы из-за повышения заболеваемости населения, причиняемые выбросами 1000 т пыли от источника со средней высотой выброса 60 м в расчёте на 1000 жителей, в ценах 1991 г., руб.:

Количество выбросов пыли, тыс.т/год	I зона	II зона	III зона	IV зона
0–5	415	–	–	–
6–20	405	243	–	–
21–50	390	235	152	–
51–125	373	224	145	93

Удельные ущербы из-за повышения заболеваемости населения, причиняемые выбросами 1000 т SO<sub>2</sub> от источника со средней высотой выброса 60 м в расчёте на 1000 жителей, в ценах 1991 г., руб.:

Количество выбросов пыли, тыс.т/год	I зона	II зона	III зона	IV зона
0–1	330	–	–	–
2–5	328	197	–	–
6–10	326	196	127	–
11–30	324	195	126	81

Удельные ущербы из-за повышения заболеваемости населения, причиняемые выбросами 1000 т CO от источника со средней высотой выброса 60 м в расчёте на 1000 жителей, в ценах 1991 г., руб.:

Количество выбросов пыли, тыс.т/год	I зона	II зона	III зона	IV зона
0–10	180	–	–	–
11–30	175	105	–	–
31–70	172	104	67	–
71–150	166	100	65	41

Удельные ущербы коммунальному, сельскому и лесному хозяйствам и промышленности, причиняемые 1000 т выбросов от источника со средней высотой выброса 60 м в расчёте на 1000 жителей, в ценах 1991 г., руб.:

	Примесь	I зона	II зона	III зона	IV зона
Коммунальное хозяйство (объекты, необходимые для проживания 1000 человек)	пыль	450	280	170	105
	SO <sub>2</sub>	270	150	70	50
Сельское и лесное хозяйство (на 1 га)	пыль	0,9	0,5	0,25	0,2
	SO <sub>2</sub>	1,6	0,9	0,4	0,3
Промышленность (объекты стоимостью основных фондов 1 млн.руб.)	пыль	25	15	7	5
	SO <sub>2</sub>				

Коэффициенты корректировки удельных ущербов по зонам для источников выбросов, высота которых отличается от 60 м:

Высота выброса, м	I зона	II зона	III зона	IV зона
0–15	10	1,5	0,4	0,16
16–40	4	1,3	1	0,5
41–80	1	1	1	1
81–150	0,6	0,7	0,8	0,9
151–220	0,2	0,3	0,5	0,7
221–300	0,05	0,15	0,3	0,6

Экологический ущерб по зоне  $j$ , наносимый народному хозяйству выбросами  $i$ -го загрязнителя из одиночного источника рассчитывается:

$$Y_i^j = M_i \cdot y_i^j \cdot k_h^j \cdot N^j, \quad (6.1)$$

где  $M_i$  – годовые выбросы одного из трёх указанных компонентов-загрязнителей в балансе источника, тыс.т/год;

$y_i^j$  – удельные ущербы по зоне  $j$  из-за повышения заболеваемости населения, коммунальному, сельскому и лесному хозяйствам и промышленности, причиняемые выбросами 1000 т  $i$ -го загрязнителя из одиночного источника, руб.;

$k_h^j$  – коэффициент корректировки удельного ущерба по зоне  $j$  для источников выбросов, высота которых отличается от 60 м;

$N^j$  – число жителей в зоне  $j$ , тыс.чел., или площадь сельскохозяйственных и лесных угодий, находящихся в зоне  $j$ , га, или стоимость основных фондов промышленных объектов в зоне  $j$ , млн.руб.

Под экологическим ущербом отдельного хозяйствующего субъекта (предприятия) понимают те потери (затраты), которые несет предприятие вследствие негативного воздействия вредных веществ, попадающих в окружающую среду с выбросами собственного производства. Исходя из этого экологический ущерб от негативного воздействия вредных веществ представляет собой часть издержек предприятия, связанных с компенсацией такого воздействия на ресурсы предприятия.

Экологический ущерб является первой составляющей издержек предприятия на природоохранную деятельность. Второй составляющей выступают текущие затраты на природоохранную деятельность, которые зависят от уровня негативного воздействия вредных веществ технологических процессов на предприятии на окружающую среду.

Таким образом, общие издержки предприятия на охрану окружающей среды включают текущие затраты на природоохранную деятельность и экологический ущерб.

Текущие затраты на природоохранную деятельность складываются из затрат на содержание основных фондов природоохранной деятельности; на мероприятия природоохранной деятельности; на оплату услуг, связанных с охраной окружающей среды (например, очистка сточных вод другими предприятиями).

Экономический ущерб предприятию представляет собой:

1. Затраты, вызываемые воздействием загрязненной окружающей среды на предприятие:

- компенсация потерь продукции (стоимость потерь продукции) из-за снижения производительности труда и невыходов на работу работников вследствие повышенной заболеваемости от воздействия конкретного вредного вещества;
- компенсация потерь продукции, сырья, полуфабрикатов, теряемых в виде выбросов (с отходящими газами или сточными водами);
- возмещение потерь продукции вследствие воздействия загрязненной окружающей среды на основные фонды (внеплановый ремонт и простой оборудования);
- компенсация повышенного износа фондов технологического назначения вследствие воздействия загрязненной окружающей среды (увеличение затрат на текущий и капитальный ремонт).

2. Затраты на предотвращение воздействия загрязненной окружающей среды:

- предварительная очистка воды для технических целей;
- эксплуатация систем очистки воздуха для производственных помещений и производственных нужд;
- создание санитарно-защитных зон;
- затраты на сбор, удаление и захоронение отходов, включая потери от отчуждения земель для размещения отходов;
- обеспечение приспособляемости основных фондов к воздействию химически активных веществ (антикоррозийные покрытия и т.п.).

Очевидно, что чем больше текущие затраты на природоохранную деятельность, тем меньше экономический ущерб предприятию, и наоборот. Между тем увеличение текущих затрат не означает роста общих затрат на производство. Это объясняется тем, что на величину роста общих затрат уменьшается и экономический ущерб предприятию, который также включен в себестоимость выпуска готовой продукции. Общие затраты на производство увеличиваются лишь при превышении текущих затрат на природоохранную деятельность над издержками на охрану окружающей среды. Сокращение текущих затрат на природоохранную деятельность не



означает снижения себестоимости продукции. Снижение себестоимости продукции может быть достигнуто лишь при повышении эффективности природоохранных мероприятий.

В реальных условиях вместо указанных трёх компонентов, по которым проводится оценка экологического ущерба народному хозяйству, могут выступать другие, ещё более токсичные химические соединения, например фториды, органические соединения, соединения ртути, свинца, мышьяка и др. В этом случае целесообразно воспользоваться методикой [14]:

Ущерб, наносимый выбросами единичного источника в атмосферный воздух, в ценах 1991 года (руб./год) определяется по формуле

$$Y = \gamma \sigma f M, \quad (6.2)$$

где  $\gamma' = 3,3$  руб./усл.т – удельный ущерб, наносимый народному хозяйству выбросом в атмосферу одной условной тонны загрязняющих веществ, не превышающим предельно допустимой величины;  $\gamma'' = 15,8$  руб./усл.т – то же, превышающим допустимой величины [15];

$\sigma$  – показатель относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха, учитывающий факторы восприятия;

$f$  – коэффициент, учитывающий характер рассеивания вредного вещества;

$M$  – приведенная масса годового выброса токсичного вещества, т/год.

Показатель относительной опасности  $\sigma$  учитывает экологическую уязвимость реципиентов и приводится в табл. 6.1.

Таблица 6.1

**Показатель относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха над категориями различных типов**

Тип загрязняемой территории	$\sigma$
Курорты, санатории, заповедники, заказники	10
Пригородные зоны отдыха, садовые и дачные кооперативы и товарищества	8
Населенные места с плотностью населения $n$ чел/га*	(0,1 га/чел.) $n$
Территории промышленных предприятий (включая защитные зоны) и промышленных узлов	4
Леса:	
1-я группа	0,2
2-я группа	0,1

3-я группа	0,025
Пашни**:	
южные зоны (южнее 50° с.ш.)	0,25
Южная Сибирь	0,15
прочие районы	0,1
Сады, виноградники**	0,5
Пастбища, сенокосы**	0,05

Примечания:

\* При наличии данных о фактической плотности пребывания людей на загрязняемой территории в чел · ч/(год · га) эту строку в таблице следует заменить следующей: «Территории населенных мест с плотностью пребывания людей N чел · ч/(год · га)», а в столбце «Значение  $\sigma$ » поставить: «(N/35000) чел · ч/(год · га)». При этом в число N включается время, проведенное людьми как вне, так и внутри помещений. (Число  $\sigma = (0,1 \text{ га/чел})$  и  $\sigma = N/35000 \text{ чел} \cdot \text{ч}/(\text{год} \cdot \text{га})$  в столбце «Значение  $\sigma$ » безразмерны.) Для центральной части городов с населением свыше 300 тыс. чел. независимо от административной плотности населения принимается  $\sigma = 8$ .

\*\* Для орошаемых пахотных земель, садов, виноградников, сенокосов указанные числа следует умножить на 2.

Если зона активного загрязнения (ЗАЗ) неоднородна и состоит из территорий таких типов, которым соответствуют различные значения  $\sigma$  причем  $S_j$  – площадь j-й части ЗАЗ,  $\sigma_j$  – соответствующее табличное значение константы  $\sigma$ , то значение  $\sigma$  для всей ЗАЗ определяется по формуле

$$s_i = \sum_{j=1}^k \frac{S_j}{S_{ЗАЗ}} \cdot \sigma_j, \quad (6.3)$$

где  $S_{ЗАЗ}$  – общая площадь ЗАЗ;  $j$  – номер части ЗАЗ, относящейся к одному из типов территорий, указанных в табл. 6.1;  $k$  – общее число типов территорий, попавших в ЗАЗ.

*Зона активного загрязнения для каждого источника, ущерб от выбросов которого подлежит оценке, определяется следующим образом.*

**ЗАЗ для организованных источников** представляет собой кольцо, заключенное между окружностями с внутренним и внешним радиусами  $r_1 = 2j h$  и  $r_2 = 20j h$ , где  $h$  – высота источника в метрах. В случаях, когда частотная роза по направлениям ветров резко отличается от круговой, рекомендуется круговые внешнюю и внутреннюю границы ЗАЗ по соответствующим румбам заменять деформированными в соответствии с частотной розой по направлениям ветров, умножая величины  $r_1$  и  $r_2$  на два множителя, первый из которых равен числу румбов в розе, а второй – относительной частоте (в долях единицы) направления ветра по каждому румбу  $P_i / 100$ .

Роза ветров считается круговой, если отношение максимальной среднегодовой повторяемости ветра  $P_{\max}$ , %, к среднегодовой повторяемости ветра по каждому румбу  $P_i$ , %, не превышает 2.

Безразмерная поправка  $\varphi$  на подъем факела в атмосфере, вычисляется по формуле

$$j = 1 + \frac{\Delta T}{75}, \quad (6.4)$$

где  $\Delta T$  – среднегодовое значение разности температур в устье трубы и в окружающей атмосфере (см. формулу (4.1)), °С.

Для низких неорганизованных источников (складов, окон промышленных зданий, карьеров, свалок и т.д.) принимается, что ЗАЗ представляет собой территорию внутри замкнутой кривой, проведенной вокруг источника так, что расстояние от любой точки этой кривой до ближайшей точки границы неорганизованного источника (до его контура) равно 1 км, а для высоких неорганизованных источников 20 h (м).

Значение поправки  $f$ , учитывающей характер рассеивания примеси в атмосфере, определяется следующим образом.

Для газообразных примесей и легких мелкодисперсных частиц с очень малой скоростью оседания (менее 1 см/с)

$$f = f_1 = \frac{100}{100 + j h} \cdot \frac{4}{1 + u}, \quad (6.5)$$

где  $h$  – геометрическая высота устья источника по отношению к среднему уровню ЗАЗ, м;

$\varphi$  – то же, что в формуле (6.4);

$u$  – среднегодовое значение модуля скорости ветра на уровне флюгера, м/с; в тех случаях, когда значение  $u$  неизвестно, оно принимается равным 3 м/с.

Для частиц, оседающих со скоростью от 1 до 20 см/с, принимается, что

$$f = f_2 = \sqrt{\frac{100}{60 + j h}} \cdot \frac{4}{1 + u}, \quad (6.6)$$

Для частиц, оседающих со скоростью свыше 20 см/с, принимается, что независимо от значений  $h$ ,  $\varphi$ ,  $\Delta T$  и  $u$

$$f = f_3 = 10, \quad (6.7)$$

Если распределение годовой массы выброса частиц (пыли, золы, жидких аэрозолей и пр.) по фракциям в зависимости от скорости оседания частиц неизвестно, то можно принимать, что при выбросе частиц после их прохождения через фильтры с фактическим эксплуатационным значением коэффициента очистки (улавливания)  $h$  при  $h \geq 90\%$  имеет место равенство (6.5); при  $10\% < h < 90\%$  – формула (6.6); при  $h < 70\%$  – формула (6.7); при выбросе частиц одновременно с парами воды или других веществ, сопровождающемся быстрой конденсацией, применяется (6.7); эта же формула используется при оценке ущерба от выброса аэрозолей автотранспортными средствами.

При оценке ущерба от выброса примесей объемными источниками (терриконами и т. п.), производимой по формулам (6.5) и (6.6), в качестве  $h$  следует брать высоту центра тяжести источника (или центра области образования выбросов) относительно среднего уровня ЗАЗ.

Значение приведенной массы годового выброса загрязнений в атмосферу из источника определяется по формуле

$$M = \sum_{i=1}^N A_i m_i, \quad (6.8)$$

где  $m_i$  – масса годового выброса примеси  $i$ -го вида в атмосферу, т/год;

$A_i$  – показатель относительной агрессивности примеси  $i$ -го вида (коэффициент приведения различных вредных веществ к «монозагрязнителю»), усл. т/т;

$N$  – общее число примесей, выбрасываемых источником в атмосферу.

Значения  $M$  подсчитываются для групп примесей, входящих в каждую из указанных выше трех фракций, так что в общем случае при выбросе примесей с тремя различными значениями параметра  $f$  из одного источника для этого источника оценка наносимого его выбросами ущерба должна определяться по формуле

$$Y = \gamma \sigma [f_1 M_1 + f_2 M_2 + f_3 M_3], \quad (6.9)$$

где  $M_1, M_2, M_3$  – приведенная масса годового выброса каждой фракции, т/год.

Таким образом, экологический ущерб, руб./год, от загрязнения воздушной среды при условии  $m_i \leq \text{ПДВ}_i$  (т/год)

$$Y = 3,3 \sigma [f_1 \sum A_1 m_1 + f_2 \sum A_2 m_2 + f_3 \sum A_3 m_3 ], \quad (6.9a)$$

а при условии  $m_i > \text{ПДВ}_i$  (т/год)

$$Y = 3,3 \sigma [f_1 \sum A_1 \cdot \text{ПДВ}_1 + f_2 \sum A_2 \cdot \text{ПДВ}_2 + f_3 \sum A_3 \cdot \text{ПДВ}_3 ] + \\ + 15,8 \sigma [f_1 \sum A_1 (m_1 - \text{ПДВ}_1) + f_2 \sum A_2 (m_2 - \text{ПДВ}_2) + \\ + f_3 \sum A_3 (m_3 - \text{ПДВ}_3)], \quad (6.9б)$$

Значение показателя  $A_i$  относительной агрессивности различных примесей, выбрасываемых в атмосферу, определяется по формуле

$$A_i = a_i a_i b_i d_i I_i, \quad (6.10)$$

где  $a_i$  – показатель относительной опасности присутствия примеси в воздухе, вдыхаемом человеком;

$a_i$  – поправка, учитывающая вероятность накопления исходной примеси или вторичных загрязнителей в компонентах окружающей среды и в цепях питания, а также поступления примеси в организм человека неингаляционным путем;

$b_i$  – поправка на вероятность образования вторичных загрязнителей, более опасных, чем исходные при участии исходных примесей, выброшенных в атмосферу (для легких углеводородов);

$d_i$  – поправка, учитывающая действие на различные реципиенты кроме человека;

$I_i$  – поправка на вероятность вторичного заброса примесей в атмосферу после их оседания на поверхностях (для пылей).

Показатель  $a_i$  и поправки  $a_i, b_i, d_i, I_i$  безразмерны; показателю  $A_i$  присваивается размерность усл. т/т. Численное значение показателя  $a_i$  определяется по формуле

$$a_i = \sqrt{\frac{\text{ПДК}_{с.с.(CO)} \text{ПДК}_{п.з.(CO)}}{\text{ПДК}_{с.с.(i)} \text{ПДК}_{п.з.(i)}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 20}{\text{ПДК}_{с.с.(i)} \text{ПДК}_{п.з.(i)}}}, \quad (6.11)$$

где  $\text{ПДК}_{с.с.(i)}$  – среднесуточная предельно допустимая концентрация  $i$ -й примеси в атмосферном воздухе;

$\text{ПДК}_{п.з.(i)}$  – предельно допустимое значение концентрации  $i$ -й примеси в воздухе рабочей зоны;

$\text{ПДК}_{\text{с.с.}(CO)}$  – среднесуточная предельно допустимая концентрация оксида углерода CO в атмосферном воздухе населенных мест, равная 3 мг/м<sup>3</sup>;

$\text{ПДК}_{\text{р.з.}(CO)}$  – предельно допустимое значение концентрации CO в воздухе рабочей зоны, равное 20 мг/м<sup>3</sup>.

В случае если в списках ПДК, утверждаемых Главным санитарным врачом, отсутствует значение  $\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$  для того или иного выбрасываемого вещества или примеси, вместо  $\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$  при расчете величины  $a_i$  допускается использование значения максимально разовой ПДК для атмосферного воздуха населенных мест, а вместо  $\text{ПДК}_{\text{р.з.}}$  – ОБУВ.

Поправка  $a_i = 5$  для токсичных металлов и их оксидов: *ванадия*, марганца, кобальта, никеля, хрома, цинка, мышьяка, серебра, кадмия, сурьмы, олова, платины, ртути, свинца, урана;

$a_i = 2$  для прочих металлов и их оксидов: натрия, магния, кальция, железа, стронция, молибдена, бария, вольфрама, висмута, кремния, бериллия, а также других компонентов твердых аэрозолей, *полициклических ароматических углеводородов* (ПАУ), в том числе 3,4-бенз(а)пирена;

$a_i = 1$  для всех прочих выбрасываемых в атмосферу загрязнителей (для газов, кислот и щелочей в аэрозолях и др.).

Поправка на вероятность образования опасных вторичных загрязнителей принимается:

$b_i = 5$  для содержащихся в парах бензинов и других топлив нетоксичных летучих углеводородов (низкомолекулярных парафинов и олефинов при  $\alpha_i < 3$ ) при их поступлении в атмосферу южнее 45° с.ш.;

$b_i = 2$  при их поступлении в атмосферу севернее 45° с.ш.;

$b_i = 1$  для прочих веществ.

Поправка  $d_i = 2$  для выбрасываемых и испаряющихся в атмосферный воздух легко диссоциирующих *кислот и щелочей* (фтористого водорода, соляной и серной кислот и т. п.), молекулярных фтора, хлора;

$d_i = 1,5$  для сернистого газа, *оксидов азота*, сероводорода, сероуглерода, озона, хорошо растворимых неорганических соединений фтора;

$d_i = 1,2$  для органических пылей, не содержащих ПАУ и других опасных соединений (*древесной пыли* и др.), нетоксичных металлов и их оксидов (натрия, магния, калия, кальция, железа, стронция, молибдена, бария, вольфрама, висмута), а также для реакционно способной органики (альдегидов и т. п.), аммиака, неорганических соединений кремния, плохо растворимых соединений фтора;

$d_i = 1$  для прочих соединений и примесей (для оксида углерода, легких углеводородов, органических пылей, содержащих ПАУ, токсичных металлов и их оксидов и др.).

Поправка на вторичный заброс  $I_i = 1,2$  для твердых аэрозолей (пылей), выбрасываемых на территориях со среднегодовым количеством осадков менее 400 мм в год;

$I_i = 1$  для твердых аэрозолей, выбрасываемых на прочих территориях, а также для всех прочих примесей независимо от места выброса.

Значения  $A_i$  для некоторых распространенных видов примесей приведены в таблицах 6.2, 6.3.

Таблица 6.2

**Значения  $A_i$  для некоторых веществ, выбрасываемых в атмосферу**

Вещество	ПДК <sub>с.с.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>р.з.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	$a_i$	$I_i$	$a_i$	$b_i$	$d_i$	$A_i$ , усл. т/т
Оксид углерода	3	20	1	1	1	1	1	1
Сернистый ангидрид	0,2	10	5,5	1	1	1	2	11
Серная кислота	0,1	1	24,5	1	1	1	2	49
Оксиды азота в пересчете по массе на NO <sub>2</sub>	0,1	2	17,3	1	1	1	1,5	26
Ацетон	0,35	800	0,46	1	1	$\frac{2}{5}$	1,2	$\frac{1,10}{2,76}$
Фенол	0,007	0,1	292,8	1	1	1	1,2	351,6
3.4-бенз(а)пирен	$5 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^5$	1	2	1	1	$5,6 \cdot 10^5$
Цианистый водород	0,01	0,3	141	1	1	1	2	282
Газообразные соединения фтора	0,2	0,12	50	1	1	1	2	100
Диоксид кремния	0,02	6	22,4	1	2	1	1,2	53,8
Сажа без примесей (пыль углерода без учета примесей)	0,05	6	14,1	1	2	1	1,2	33,8
Древесная пыль	0,16	6	7,91	1	2	1	1,2	19
Пентаоксид ванадия (пыль)	0,008	0,5	122,5	1	5	1	1	612,5
Никель и его								

оксиды	0,004	0,05	547,7	1	5	1	1	2739
Оксиды цинка	0,15	1,5	16,3	1	5	1	1	81,5
Оксиды мышьяка	0,003	0,04	707,1	1	5	1	1	3536
Неорганические соединения ртути по Hg	0,0003	0,01	4472	1	5	1	1	22360
Неорганические соединения свинца по Pb	0,0003	0,05	2000	1	5	1	1	10000

**Примечания:** Указанные в таблице значения  $I_i$  и  $A_i$  соответствуют случаю выброса примесей в зонах с количеством осадков свыше 400 мм в год. Среднегодовое количество осадков определяется по прил.3 СНиП [10, с.68].

Значения  $b_i$  и  $A_i$  соответствующие выбросам в широтном поясе южнее 45° с.ш., указаны в числителе, а севернее 45° с.ш. - в знаменателе.

Таблица 6.3

**Значения  $A_i$  (временные) для многотоннажных аэрозолей (количество осадков больше 400 мм/год)**

Вид аэрозолей	$A_i$ , усл. т/т	Вид аэрозолей	$A_i$ , усл. т/т
Зола углей: донецких (АШ, Д, ГСШ), подмосковных	70	Твердые частицы, выбрасываемые транспортными средствами с двигателями внутреннего сгорания, работающими на неэтилированном бензине	300
кузнецких, экибастузских, карагандинских	80		
березовских, назаровских, ангренских	60		
торфов (в среднем)	60	То же на этилированном бензине	500
Пыль: коксовая и агломерационная, выбрасываемая предприятиями черной металлургии (в среднем)	100	То же для дизелей, топливных и иных установок, сжигающих мазуты и газ	200
каменноугольная	40	Пыль: цементных производств (в среднем)	45
никелевого агломерата	600	слюды	70
		талька	35
		гипса, известняка	25

**Пример.** Расчет ущерба, наносимого окружающей среде выбросами вредных веществ в атмосферу, с применением укрупненной методики валовых выбросов.



Сравним два варианта системы электрофильтров на проектируемой ТЭС, работающей на донецком угле в зоне южнее  $50^\circ$  северной широты со среднегодовым количеством осадков менее 400 мм/год. Среднегодовое значение модуля скорости ветра на уровне флюгера составляет 4 м/с. По варианту 1 на ТЭС будет установлен трехпольный электрофильтр ( $h = 86,7\%$ ), по варианту 2 - четырехпольный ( $h = 98\%$ ). Высота источника выброса загрязняющих веществ в атмосферу Н составляет 250 м. Массы годового поступления пыли в атмосферу от неорганизованных источников (зона выгрузки угля и т.п.) незначительны, для двух сравниваемых вариантов одинаковы, поэтому их в расчетах не учитывают. Выбросы газов через трубу одинаковы в обоих вариантах (других систем очистки не предусмотрено). Среднегодовое значение разности температур атмосферы и газовых выбросов в устье трубы  $\Delta T = 150^\circ\text{C}$ .

### Решение.

Исходная информация по двум вариантам выбросов представлена в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Выбрасываемая примесь	$A_i$ , усл. т/т	Вариант 1 ( $h = 86,7\%$ )		Вариант 2 ( $h = 98\%$ )	
		масса $m_i$ ,	привед. масса $M_i$ ,	масса $m_i$ ,	привед. масса $M_i$ ,
		т/год	усл.т/год	т/год	усл.т/год
Уголь Донецкого бассейна	70·1,2	38000	3192000	5950	499800
Пыль угольная	40·1,2	2000	96000	50	2400
3,4-бенз(а)пирен	$5,6 \cdot 10^5$	0,02	11200	0,01	5600
Итого по пыли		40000	3299200	6000	507800
Газы: SO <sub>2</sub>	11	120000	1320000	120000	1320000
SO <sub>3</sub> (как для H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	49	10000	490000	10000	490000
NO <sub>x</sub>	26	30000	780000	30000	780000
CO	1	4000	4000	4000	4000
Итого по газам		164000	2594000	164000	2594000

Значения  $A_i$  взяты из таблиц 6.2, 6.3.

Расчет для 3,4-бенз(а)пирена ведется в предположении, что в атмосфере вся его масса рассеивается в составе твердой фазы.

Расчёт ведётся в предположении, что фактические выбросы не превышают соответствующих ПДВ.

Зона активного загрязнения состоит из четырех типов территории:

- 10%  $S_{343}$  - поселок с плотностью населения 20 чел/га,  $\sigma_1 = 2$ ;
- 30%  $S_{343}$  - пашни, орошаемые,  $\sigma_2 = 0,5$ ;
- 40%  $S_{343}$  - пашни не орошаемые,  $\sigma_3 = 0,25$
- 20%  $S_{343}$  - сельскохозяйственные угодья,  $\sigma_4 = 0,05$ .

$S_j$  взяты из таблицы 6.1.

Поскольку в условии дано отношение  $S_j$  к  $S_{343}$  для территорий различных типов, то нет необходимости рассчитывать  $S_{343}$ .

$$s_i = \sum_{j=1}^k \frac{S_j}{S_{343}} \cdot \sigma_j = 0,1 \cdot 2 + 0,3 \cdot 0,5 + 0,4 \cdot 0,25 + 0,2 \cdot 0,05 = 0,46$$

$$j = 1 + \frac{150}{75} = 3.$$

Поправки на рассеивание:

Для пыли после очистки (вариант 1):

$$f = \sqrt{\frac{100}{60 + 3 \cdot 250}} \cdot \frac{4}{1 + 4} = 0,28$$

Для пыли после очистки (вариант 2) и газов:

$$f = \frac{100}{100 + 3 \cdot 250} \cdot \frac{4}{1 + 4} = 0,094$$

Экологический ущерб:

Для варианта 1 (возможный ущерб)

$$Y_1 = \gamma \sigma f M = 3,3 \cdot 0,46 \cdot (0,28 \cdot 3299200 + 0,094 \cdot 2594000) = 1172,43 \text{ (тыс. руб./год)}.$$

Для варианта 2 (фактический ущерб)

$$Y_2 = \gamma \sigma f M = 3,3 \cdot 0,46 \cdot (0,094 \cdot 507800 + 0,094 \cdot 2594000) = 442,60 \text{ (тыс. руб./год)}.$$

Порядок применения нормативов платы за загрязнение природной среды предусматривает взимание платы по нормативам с природопользователей, независимо от их ведомственной подчинённости и форм собственности.

Устанавливаются два вида базовых нормативов платы:

- за выбросы, сбросы, размещение отходов и другие виды вредного воздействия в пределах допустимых нормативов;
- за выбросы, сбросы, размещение отходов и другие виды вредного воздействия в пределах и выше установленных лимитов на время превышения допустимых нормативов.

Платежи за предельно допустимые выбросы, сбросы, размещение отходов осуществляются за счёт себестоимости продукции, а платежи за превышение их – за счёт прибыли, остающейся в распоряжении природопользователя.

Размер платежей за выбросы от стационарных источников определяется следующим образом:

$$Пл = \sum_i \left[ ПДВ_i \cdot n_i + (m_{ф.i} - ПДВ_i) \cdot n_{ш.i} \right], \quad (6.12)$$

где  $ПДВ_i$  – предельно допустимый норматив выброса, т/год;

$n_i$  – базовая ставка (налог) платы за выбросы в пределах ПДВ, у.е./т.

Принимается

для вещества 1 класса опасности в размере 4313 у.е./т,

для вещества 2 класса опасности в размере 129 у.е./т,

для вещества 3 класса опасности в размере 42 у.е./т,

для вещества 4 класса опасности в размере 21 у.е./т.

$n_{ш.i}$  – базовая ставка (налог) платы за выбросы сверх установленных ПДВ, у.е./т. Принимается в размере  $15 \cdot n_i$ ;

$m_{ф.i}$  – фактическая масса выбросов вредного вещества, т/год.

## 7 ПРОВЕДЕНИЕ ПРИРОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ С ЦЕЛЬЮ ДОСТИЖЕНИЯ ПРИЗЕМНЫМИ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ НОРМАТИВОВ ПДВ

К природоохранным мероприятиям относятся все виды хозяйственной деятельности, направленные на снижение и ликвидацию отрицательного антропогенного воздействия на окружающую природную среду: строительство и эксплуатация очистных и обезвреживающих сооружений, развитие малоотходных и безотходных технологических процессов и производств, размещение предприятий и транспортных потоков с учетом экологических требований.

Решение о проектировании пылегазоочистного оборудования следует принимать лишь после того, как путем анализа будет доказана невозможность обеспечения предельно допустимого выброса иными мерами. Далее необходимо определить, какая должна быть эффективность очистки выбросов.

Экологически требуемая эффективность очистки выбросов, %, рассчитывается по формуле

$$e_{mp} = \frac{M_i - ПДВ_i}{M_i}, \quad (7.1)$$

где  $M_i$  – фактическое количество загрязняющего вещества, выбрасываемого из источника, г/с;

ПДВ<sub>*i*</sub> – предельно допустимый выброс загрязняющего вещества в атмосферу, г/с.

По величине требуемой эффективности очистки выбросов и виду загрязняющего вещества устанавливается тип пылеочистного оборудования и техническая возможность его применения.

При выборе аппаратов для очистки газа предпочтение следует отдавать сухим пылеуловителям, так как при их установке не требуются дорогостоящие системы водоснабжения и шламовой канализации.

При выборе типа аппаратов для очистки технологических газов и ориентировочной оценки их работы можно руководствоваться следующими данными:

- в пылеосадочных камерах газ эффективно очищается от пыли крупнее 40 мкм;
- пыль размерами более 20 мкм достаточно полно улавливается в жалюзийных и инерционных аппаратах;
- сухие центробежные циклоны эффективны при очистке газа от частиц крупнее 10 мкм;

- в мокрых центробежных циклонах и скрубберах улавливаются частицы крупнее 5 мкм;
- в полых насадочных скрубберах улавливаются частицы пыли крупнее 10 мкм;
- в пенных аппаратах улавливается пыль размером более 2 мкм;
- скоростные пылеуловители с трубами Вентури, тканевые фильтры и многопольные электрофильтры предназначены для очистки газов от мелкой пыли.

Классификация пылеуловителей по их эффективности приведена в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Класс пылеуловителя	Размер эффективно улавливаемых частиц пыли, мкм	Группа пыли по дисперсности	Эффективность пылеуловителей, %
I	более 0,3-0,5	V IV	<80 99,9-80
II	более 2	IV III	92-45 99,9-92
III	>> 4	III II	29-80 99,9-99
IV	>> 8	II I	99,9-95 >99,9
V	>> 20	I	>99

Под дисперсностью пыли понимают совокупность размеров составляющих ее частиц, а именно распределение массы пыли по размерам частиц. Дисперсный состав пыли может быть выражен в виде таблицы «полных проходов» или «частных остатков» частиц разных размеров в процентах от общей массы пыли, соответственно прошедших или оставшихся на ряде реальных или условных сит.

По дисперсности различают пыли следующих классификационных групп:

- 1 - очень крупнодисперсная пыль;
- 2 - крупнодисперсная пыль;
- 3 - среднедисперсная пыль;
- 4 - мелкодисперсная пыль;
- 5 - очень мелкодисперсная пыль.

Группу пыли по дисперсности можно определить по номограмме [18] на основании данных о фракционном составе пыли. Примеры определения классификационной группы пыли по дисперсности приведены в [18].

Ориентировочный подбор очистного оборудования можно произвести по таблице 7.2.

Таблица 7.2

**Средняя эксплуатационная степень очистки газовых выбросов в различных аппаратах и установках [20]**

Аппарат, установка	Эффективность улавливания, %	
	твердых и жидких частиц	газообразных и парообразных компонентов
1	2	3
<b>Газовые выбросы котельных</b>		
Электрофильтры	85-95	—
Золоуловители ВТИ	88-90	—
Жалюзийные золоуловители	75-85	—
Групповые циклоны ЦН-15	85-90	—
<b>Аспирационный воздух от оборудования механической обработки материалов:</b>		
<b>а) Сухая очистка</b>		
Пылеосадочная камера	45-55	—
Циклоны ЦН-11	81-87	—
Конические циклоны СИОТ	60-70	—
Циклоны Гипродревпрома	70-90	—
Рукавные фильтры	98-99	—
Сетчатые фильтры (для волокнистой пыли)	93-96	—
<b>б) Мокрая очистка</b>		
Циклоны с водяной пленкой ЦВП, СИОТ	80-90	—
Полые скрубберы	70-89	—
Пенные скрубберы	75-90	—

Мокрые пылеуловители типа ПВМ	90-95	—
Низконапорные скрубберы Вентури	92-95	—
Низконапорные пылеуловители КМП	92-96	—
<b>Вентиляционные выбросы при окраске изделий</b>		
Гидрофилтры	86-98	20-30
Адсорбция	—	92-95
Термическое дожигание паров растворителя	—	92-99
Каталитическое дожигание паров растворителя	—	90-99
<b>Вентиляционные выбросы при нанесении гальванопокрытий</b>		
<b>Очистка от аэрозоля хромового ангидрида:</b>		
Насадочные скрубберы с горизонтальным ходом газа	90-95	—
Волокнистые туманоуловители ФВГ-Т	96-99	—
Волокнистый гидрофилтр «Сантехпроект»	87-90	—
Пенные аппараты ППП-И	80-87	—
<b>Очистка от паров кислот и щелочей:</b>		
Пенные аппараты ППП-И	—	80-95
Форсуночно-насадочные скрубберы	—	55-60
Встроенные в бортовые отсосы волокнистые фильтры	94-95	—
<b>Прочие аппараты химической очистки:</b>		
Абсорбционный волокнистый фильтр	—	99
Волокнистый фильтр ФВГ-С-Ц	98	95
Ротационный фильтр для улавливания масляного тумана типа ФРМ	97	—

Наиболее сложны для очистки выбросы, в которых загрязнители представляют собой многофазную систему. В общем случае подобные выбросы должны пройти последовательно 4 стадии обработки: предварительную и тонкую очистку от аэрозоля и затем предварительное и окончательное обезвреживание газообразного загрязнителя. Для предварительной очистки могут быть применены жалюзийные решетки и

циклонные аппараты, пылесадительные камеры, а для окончательной – пористые фильтры, электрофильтры или мокрые пылесадители.

Необходимую эффективность очистки отдельных ступеней многоступенчатой системы очистки можно определить по следующим формулам:

- для двухступенчатой установки:

$$E_{1.2} = E_1 + E_2(1 - E_1) \quad (7.2)$$

- для трехступенчатой установки:

$$E_{1.2.3} = E_{1.2} + E_3(1 - E_2) \quad (7.3)$$

С помощью полученных формул на стадии проектирования можно оценить, например, эффективность пылеуловителя последней ступени очистки, необходимую для обеспечения нормированной остаточной запыленности очищенного выброса.

**Пример 7.1.** Определить необходимую эффективность второй ступени двухступенчатой установки, если задано, что  $E_{1.2} = 0,997$ . Первая ступень очистки осуществляется с помощью сухого пылеуловителя IV класса (циклон СКЦН-34),  $E_1 = 80\%$ .

**Решение.** Из формулы (7.2) находим, что эффективность второй ступени должна составлять не менее

$$E_2 = (E_{1.2} - E_1)/(1 - E_1) = (0,997 - 0,8)/(1 - 0,8) = 0,985.$$

Область применения *циклонов* как самостоятельного средства санитарной очистки дисперсных выбросов в связи с усилением экологических требований постоянно сужается [19]. В настоящее время их рекомендуется использовать для предварительной очистки и устанавливать перед устройствами с высокой степенью очистки – тканевыми или электрофильтрами. Весьма удачно использование циклонов и в качестве брызгоуловителей для некоторых способов мокрой очистки газовых выбросов.

Самостоятельно циклоны следует применять лишь в условиях, не допускающих использования устройств с высокой степенью очистки – для высокотемпературных сред, при возможности реакций в электрическом поле с образованием вторичных загрязнителей.

Не допускается применение циклонов типа ЦН в обычном исполнении для очистки взрывоопасных сред. Они не рекомендуются также для улавливания сильнослипающихся пылей.



Фильтры различают по типу структурных элементов пористого слоя. По этому признаку они классифицируются на *волокнистые, тканевые и зернистые*.

Волокнистые фильтры занимают промежуточное положение между аппаратами мокрой очистки газов и фильтрами. Они предназначены для очистки воздуха от наиболее трудноотделяемых мелких аэрозольных частиц, туманов кислот, смолистых и масляных аэрозолей, а также сопутствующих пылевых частиц. Кроме того, некоторые модели таких фильтров можно использовать для очистки воздуха от диоксида серы и сероводорода. В волокнистых фильтрах осаждение взвешенных частиц происходит на слоях волокон, удерживаемых конструкциями в виде прямоугольных рам, колец и др. Технические характеристики различных выпускаемых волокнистых фильтров можно найти в специальных каталогах очистного оборудования.

Фильтры тонкой очистки часто используются для улавливания опасных тонкодисперсных (высокотоксичных, радиоактивных, бактериологически зараженных и др.) аэрозолей с последующим уничтожением или захоронением. Характеристики материалов тонковолокнистых фильтров приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3

Марка фильтрующего материала	Фильтрующий материал	Материал подложки	Диаметр волокон D, мкм	Сопротивление, Па	Проскок, %	Предел температур, $t_{\max}, ^\circ\text{C}$	Стойкость			
							к кислотам и щелочам	к маслам	к органич. растворителям	к влажным газам
ФПП-15-1,7	Перхлорвинил	Марля	1,5	17	2	60	да	нет	нет	гидрофобен
ФПП-25-3,0	“	“	2,5	30	0,1	“	“	“	“	“
ФПП-70-0,5	“	“	7,0	5	10	“	“	“	“	“
ФПП-15-1,7А	“	Перхлорвинил	1,5	17	2	“	“	“	“	“
ФПА-15-2,0	Ацетил-целлюлоза	Марля	1,5	20	1	150	нет	да	“	гидрофилен
ФПАН-10-3,0	Полиакрилонитрил	“	1,0	30	0,1	180	да	“	да	“

Удельная нагрузка  $W_{sf}$  на фильтры подобного типа находится в пределах  $0,01...0,1 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{с})$ , сопротивление чистых фильтров в пределах  $200...300 \text{ Па}$ , отработавших  $700...1500 \text{ Па}$ .

Рабочие характеристики тонковолокнистых фильтров приведены в таблице 7.4.

Таблица 7.4

Марка фильтра	Фильтрующая поверхность, м <sup>2</sup>	Максимальная производительность, м <sup>3</sup> /с	Фильтрующий материал	Размеры фильтра, мм	Предел температур
ФБ-0,5	0,5	0,02	ФПП-25	235×235×256	60
ФБ-2	2	0,06	“	330×300×390	“
ФБ-10	10	0,285	“	510×510×552	“

Волокнистые фильтры широко используются в качестве туманоуловителей. В качестве фильтрующей среды при этом применяют синтетические и металлические сетки или волокна, стекловолокно, полипропилен. Различают высокоскоростные грубоволокнистые фильтры, предназначенные для улавливания частиц крупнее 1 мкм, и низкоскоростные – для улавливания субмикронных частиц влаги. Высокоскоростные снаряжаются грубыми волокнами. Их удельная нагрузка  $W_{sf}$  поддерживается в пределах 0,5...1,5 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>с). Нагрузка  $W_{sf}$  на низкоскоростные туманоуловители 0,01...0,2 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>с). Количество фильтрующих элементов, собираемых в один корпус, может достигать до 50 и более. В качестве материала волокон используются кислотоупорные стёкла, полипропилен. Максимальная допустимая температура некоторых стекловолокнистых фильтров может достигать до 400 °С.

Рабочие характеристики фильтра типа ФВГ-Т (фильтр волокнистый для гальванических ванн, в титановом корпусе): начальное сопротивление 150 Па, конечное сопротивление 500 Па, регенерация промывкой, расход воды на промывку 1 м<sup>2</sup> поверхности 200 ÷ 300 л, температура очищаемого воздуха 5 ÷ 90 °С, степень очистки 96 ÷ 99 %, оптимальная скорость фильтрации 3 ÷ 3,5 м/с. Другие характеристики в зависимости от модели сведены в таблицу 7.5.

Таблица 7.5

Типоразмер фильтра	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Площадь фильтрующей поверхности, м <sup>2</sup>	Время регенерации, мин.
ФВГ-Т-0,37	3500 ÷ 5000	0,37	5 ÷ 10
ФВГ-Т-0,74	7000 ÷ 10000	0,74	10 ÷ 20
ФВГ-Т-1,6	14000 ÷ 20000	1,6	20 ÷ 30
ФВГ-Т-3,2	28000 ÷ 40000	3,2	30 ÷ 50
ФВГ-Т-6,4	60000 ÷ 80000	6,4	50 ÷ 80

Характеристики материалов тканевых фильтров приведены в таблице 7.6.

Таблица 7.6

## Характеристики материалов волокон для фильтрующих тканей

Материал волокна	Наименование (торговая марка) ткани	Рабочая температура, К	Стойкость*					Возгораемость	Влагопоглощение, %, при 20°C и ф, %	
			истиранию (износ у)	кислотам	щелочам	газообразным окислителям	органич. растворителям		65	90
Целлюлоза	Хлопок	340	6	3	9	6	10	да	8	25
Белок натуральный	Шерсть	350	5	6	3	6	8	да	15	22
Полипропилен	Полипропилен	350	8	10	10	7	4	да	0	0
Стекло	Стеклоткань	515	3	10**	4	10**	10	нет	0,3	-
Полиамиды	Капрон, нейлон	350	10	3	10	6	6	да	4	8
Полиэфир	Лавсан	390	9	7	6	8	8	да	0,4	0,5
Полиакрилаты	Нитрон	373	6	6	6	7	6	да	2	5
Полифторолефины	Тефлон, фторопласт, полифен	490	5	10	10	10	10	нет	0	0
Полифторолефины	Горетекс (плёнка на ткани, войлоке)	500	5	9	9	9	10	нет	0	0
Полиоксидиазол	Оксалон	500	8	8	10	8	-	нет	-	-
Полибензимидазол	PBJ	-	9	8	10	8	-	нет	-	-
Поливинилхлорид	Хлорин, ПВХ	340	3	9	10	1	7	да	0,3	0,9
Полифениленсульфид	Ритон	430	8	8	8	7	-	да	-	-
Коррозионно-стойкая сталь	Бекипор	715	10	8	8	8	10	нет	0	0

Примечания:

1) прочерки означают отсутствие сведений

2) \* оценка стойкости по десятибалльной шкале 2 - очень плохая, 4 - плохая, 6 - средняя, 8 - хорошая, 10 - очень хорошая.

\*\* в присутствии HF применение недопустимо

В настоящее время выпускается множество конструкций тканевых фильтров. По форме фильтровальных элементов и тканей они могут быть рукавные и плоские, по виду опорных устройств – каркасные, рамные и

др., по наличию корпуса и его форме – цилиндрические, прямоугольные, бескамерные, по числу секций – одно- и многосекционные. Характеристики конструкций рукавных фильтров приведены в таблицах 7.7÷7.8 [19].

Таблица 7.7

**Технические характеристики рукавных фильтров**

Марка фильтра	Площадь фильтрующей поверхности, м <sup>2</sup>	Количество секций, шт.	Количество рукавов в секции, шт.	Диаметр рукава, мм.	Высота рукава, м	Пропускная способность, м <sup>3</sup> /с / сопротивление, Па
ФР-6П	18	1	6	390	2.5	1/(500...1000)
ФТ-2М	20	1	12	300	1.8	2.5/600
ФТНС-4М	12.4	1	4	386	2.6	-/490
ФТНС-8М	24.8	2	4	386	2.0	-/490
ФТПС-12М	37.2	3	4	-	2.6	-/490
ЦА-3804	4140	3	-	-	-	5.6/-
ФРУ	2.5...50	1...4	14;28; 42;56	125	0.9;1;1.5; 2;2.5	-/1500
ФРВ-20	20	2	32	130	1.63	-
ФРН-30	30	2	48	130	1.63	-
ФР-250	281	4	288	135	2.3	-(1000...2000)
СМЦ-101А	50;55;110; 115;205	2	36	200	2.2;4.5;4.9; 5.1;9.1	-/1900
РФГ	112;168; 224;280	4;6;8;10	56;64; 112;140	220	3.1	-
УРФМ	1610;2300	14;20	588;840	220	4.063	-(700...1500)
Г4-1БФМ	30;45;60;90;	2;3;4;6	36;54;72;108	135	2.09	-/1300
Г4-2БФМ	60;90	4;6	72;108	135	2.09	-/1300
ФР-518(650)	518(650)	6	72(90)	127	3	(2.5...3.33)/1600
ФР-5000	5000	8	504	127	3.09	-/(1500...2000)
ФРДО-6500	6500	10	212	130	7.85	
ФРО-2400-1	2400	8	42	200	8	≥ 14/2000
ФРО-6000-2	6000	10	54	300	10	“
ФРО-20300-3	20300	10	216	300	10	“
РФОСП	1.9...136	-	2...24	-	1...6	(0.17...11.4)/2000
РФСП-11	370	4	22	300	4.8	-
РФСП-1580	1580	20	24	-	-	до 130/-
ФРКИ-30	30	1	36	135	2	-/2000
ФРКН-В-30	30	1	36	135	2	“
ФРКИ-60	60	2	36	135	2	“
ФРКН-В-60	60	2	36	135	2	“
ФРКИ-90	90	3	36	135	2	“
ФРКН-В-90	90	3	36	135	2	“
ФРКИ-180	180	4	36	135	3	“
ФРКИ-360	360	8	36	135	3	“
ФРКДИ-550	550	6	36	135	6	-/2800
ФРКДИ	720	8	36	135	6	“
ФРКДИ-1100	1100	12	36	135	6	“

Фильтры ФР-6П, ФТ-2М, ФТНС-М предназначены для очистки воздуха от волокнистой пыли. Удельные газовые нагрузки  $W_{sf}$  составляют соответственно 0,056, 0,1 и 0,057 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>с).

Фильтр ЦА-3804 предназначен для улавливания асбестовой пыли.

Фильтры ФРУ разработаны для систем аспирации взрывоопасных химических производств ( $W_{sf} = 0,02$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>с)), ФРВ-20 и ФРН-30 – для различных технологических процессов химических производств, ФР-250 – для аспирационных систем сажевых производств и предприятий по производству минеральных удобрений; СМЦ – для технологических процессов предприятий стройматериалов; РФГ и УРФМ – для предприятий цветной металлургии ( $W_{sf} = 0,012...0,02$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>с)); Г4-БФМ (ранее ФВ) – для предприятий пищевой промышленности ( $W_{sf} = 0,025...0,033$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>с)).

Фильтры ФР-518, ФР-650 и ФР-5000, ФР-6500 со стеклотканями используются для очистки взрывоопасных газовых смесей с температурой до 240°С от сажи. Удельные газовые нагрузки  $W_{sf}$  составляют соответственно 0,004...0,005 и 0,005...0,006 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>с).

Фильтры ФРО ( $W_{sf} = 0,005...0,015$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>с)) имеют пропускную способность более 14 м<sup>3</sup>/с. Фильтры снаряжаются лавсановыми или стеклотканями и предназначены для улавливания пылей и возгонов из газовых выбросов металлургических и машиностроительных предприятий при температурах до 230°С.

Фильтры типа РФОСП, РФСП-П, РФСП-1580 ( $W_{sf} = 0,08...0,15$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>с)) разработаны для улавливания возгонов свинца и других тяжелых металлов на предприятиях цветной металлургии при концентрации загрязнителей на входе порядка 500...1000 мг/м<sup>3</sup>.

Фильтры общего назначения типа ФРКИ ( $W_{sf} = 0,027...0,03$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>с)), разработанные НИИОГаз, предназначены для улавливания электризующихся пылей.

Таблица 7.8

**Габаритные размеры некоторых типов рукавных фильтров**

Марка фильтра	Габаритные размеры, мм		
	длина	ширина	высота
ФР-6П	1595	1050	3000
ФТ-2М	2300	2100	3230
ФТНС-4М	1450	1470	4270
ФТНС-8М	1450	2967	4270
ФТНС-12М	1450	3620	4270
ФРУ	1226	864; 1249; 1652; 2056	1025...3180
ФР-250	7400	3900	7860

СМЦ-101А	3170	1710	5700; 8940; 13760
УРФМ	23000; 16100	4800	13078
Г4-БФМ	1435...3800	1580	4325; 4370
ФР-518(650)	14500	3700	9500
ФР-5000	29000	7000	14500
ФРДО-6500	22300	7600	16000
ФРО-2400-1	9600	6800	16750
ФРО-6000-2	18600	9800	18400
ФРО-20000-3	30200	18800	23500
РФОСП	1600...4500	900...2700	3000...9000
РФСП-2, РФСП-1580	25750	7750	11700
ФРКИ	1500...5850	2000...4400	3600...4900
ФРКДИ-550	5000	4400	9200
ФРКДИ-720	6300	4400	9200
ФРКДИ-110	9000	4400	9200

Зернистые фильтры используют в газоочистке при невозможности применения тканевых из-за высокой температуры среды и больших перепадах давления. Зернистые фильтры находят все более широкое применение при обработке запыленных выбросов производства строительных материалов, предприятий химической промышленности, при получении редких металлов. Характеристики некоторых зернистых фильтров приведены в таблице 7.9.

Таблица 7.9

### Технические характеристики зернистых фильтров типа ЗФ

Показатели	ЗФ-4М	ЗФ-5М	ЗФ-6М	ЗФ-8	ЗФ-10
Пропускная способность, м/с	2,5...5	5... 10	10...40	10...150	10...30
Площадь фильтрации, м <sup>2</sup>	2...4	4...8	8...31	8..120	16...37
Число секций	2...4	2...6	2..8	2...30	6...14
Число фильтрующих слоев	3	3	3	3	2
Продолжительность фильтрации / регенерации, мин.	<u>40..60</u>	<u>40...60</u>	<u>40...60</u>	<u>40...60</u>	<u>10...15</u>
Максимальная начальная запыленность, г/м	2...4	2...4	2...4	2...4	0,5...1
Наполнитель	Гравий 3...10 мм, галька, шлак, древесные опилки, резина, пластмасса, графит				
Максимальная температура, К	673				
Гидравлическое сопротивление, Па	600...1500				
Степень очистки, %	95...99				
Масса, т:					

с наполнителем	2,5...5	4,5...9	9...14	14...180	15...34
без наполнителя	1,5...3	2,5...5	5...10	10...130	10...20
Способ регенерации	Обратная продувка				

Расчет площади фильтрующей поверхности проводится в следующем порядке.

1. С учетом физико-химических характеристик выбросов, характера производства, технико-экономических и других факторов обосновывают эффективность очистки газов посредством фильтрации, принимают тип фильтрующей среды и фильтра (волоконный, тканевый, зернистый и др.), подбирают приемлемый материал волокон, ткани или гранул; для тканых и зернистых фильтров определяют также способ регенерации фильтрующего слоя.

2. По общему расходу запыленных газов  $W$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , расходу газов на регенерацию  $W_1$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  и удельной нагрузке  $W_{\text{sf}}$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2\text{с})$ , допустимой для выбранного типа фильтра, определяют рабочую площадь фильтрации:

$$f_{\text{wr}} = \frac{W + W_1}{W_{\text{sf}}}, \text{ м}^2 \quad (7.4)$$

Количество газов на регенерацию  $W_1$ , принимают по техническим характеристикам выбранных фильтров.

Значение допустимой удельной нагрузки  $W_{\text{sf}}$  ("скорости фильтрации") при отсутствии опытных данных подбирают по рекомендациям предприятий-изготовителей, приведенным в каталогах или по другим официальным источникам. Ориентировочные значения  $W_{\text{sf}}$  для рукавных фильтров, составленные на основании обобщения опыта эксплуатации в различных отраслях промышленности [19], приведены в таблице 7.10.

Таблица 7.10

#### Допустимые удельные нагрузки для рукавных фильтров

Вид загрязнителя	"Скорость фильтрации" $W_{\text{sf}}$ , $\text{м}^3/(\text{м}^2\text{с})$ , при способе регенерации*:		
	В, О	И	О
Сажа, белая сажа (кремнезем), возгоны свинца и цинка, конденсационные аэрозоли, пыль косметических и моющих порошков, молочный порошок, активированный уголь, цементная пыль от печей (в дымовых газах)	0,0075... ...0,01	0,0133... ...0,033	0,0055... ...0,0075
Возгоны железа и ферросплавов, карбид-	0,01...	0,025...	0,0075...

ных печей, пыль цемента от мельниц, глинозема, извести, корунда, крахмала, производства удобрений, пластмасс, литейного производства	..0,0125	..0,042	...0,092
Летучая зола, пыль каменноугольная. тальковая, пигментов, переработки руд, известняка, каолина, цемента от холодильников, керамических производств, от песко- и дробеструйной очистки, фрита эмалей	0,0117... ...0,0133	0,033... ...0,058	0,01... ...0,015
Пыли асбеста и мелковолокнистых материалов, гипса, перлита, производства резины, шлифовальных процессов, поваренной соли, муки	0,0133... ...0,0258	0,042... ...0,075	-
Пыли производства комбикормов, табачных изделий, обработки кожи и дерева. грубые растительные волокна	0,015... ...0,033	0,042... ...0,1	-

\* В - встряхивание, И - импульсная продувка, О - обратная продувка.

3. Если регенерацию производят с отключением секций, то к рабочей площади фильтрации  $f_{wr}$  добавляют величину площади фильтрации в них и находят общую площадь фильтра:

$$f_{tot} = f_{wr} + f_1, \text{ м}^2 \quad (7.5)$$

Площадь фильтрации секций, отключенных на регенерацию  $f_1$ ,  $\text{м}^2$ , можно найти из соотношения:

$$f_1 = N f_N \tau n / 3600, \text{ м}^2, \quad (7.6)$$

где  $N$  – число ступеней-аппаратов фильтров;  $f_N$  – площадь фильтрации одной секции,  $\text{м}^2$ ;  $\tau$  – время отключения секций на регенерацию,  $\text{с}$ ;  $n$  – количество регенераций за 1 час. При отсутствии технических данных по фильтру для регенерации обратной продувкой или встряхиванием можно оценочно принимать  $n = 1...10$ ,  $\tau = 2...20$  с.

Для фильтров с импульсной и струйной продувкой, в которых отключение секций на регенерацию не требуется, общая площадь поверхности фильтрации  $f_{tot}$  принимается равной рабочей  $f_{wr}$ .

4. Требуемое количество секций или фильтров находят по соотношению:

$$N' = f_{tot} / f_N, \quad (7.7)$$



Вычисленное значение  $N'$  округляют до целого в сторону увеличения.

5. Находят сопротивление фильтровальной установки, потери давления в коммуникациях и выполняют подбор вентилятора.

**Пример 7.2.** Подобрать фильтр для очистки выбросов целлюлозно-бумажного комбината. Среднемедианный размер частиц пыли  $D_{50} = 1,1$  мкм, плотность частиц  $2740 \text{ кг/м}^3$ ; концентрация пыли в газах  $4,1 \text{ г/м}^3$ ; пыль характеризуется склонностью к образованию крупных агломератов и сильной слипаемостью; количество газовых выбросов составляет  $5 \text{ м}^3/\text{с}$ ; температура газов  $140 \text{ }^\circ\text{C}$ ; состав газовой части выбросов, % об.:  $\text{CO}_2 - 17$ ;  $\text{O}_2 - 2,4$ ;  $\text{N}_2 - 80$ ;  $\text{H}_2\text{S} + \text{меркаптаны} - 0,2$ .

Подбор и расчеты фильтра выполняем в следующем порядке.

1. Основываясь на заданном дисперсном составе пыли ( $D_{50} = 1,1$  мкм), можно уверенно предполагать, что из всех рассмотренных ранее способов фильтрация в пористой среде должна обеспечить наиболее высокую степень очистки. Большая начальная запыленность не способствует использованию тонковолокнистых фильтров. В то же время не слишком высокая температура обрабатываемых газов, отсутствие в них острых и раскаленных частиц, химически агрессивных веществ позволяет остановиться на тканевых фильтрах. По-видимому, было бы целесообразно рассмотреть и вариант совместной очистки от взвешенных частиц и газовых загрязнителей ( $\text{H}_2\text{S}$ , меркаптаны) посредством сорбции в зернистых фильтрах. Однако можно заранее предполагать, основываясь на характеристиках серийно выпускаемых гравийных фильтров, что степень очистки в них от пылевых загрязнений ниже, чем в тканевых.

По заданной температуре газов  $T = 413 \text{ K}$  из таблицы 7.6 подбираем материал фильтра – стеклоткань, которому соответствуют фильтры типа ФР-518, имевшие посекционную регенерацию обратной продувкой. Выписываем из таблиц 7.7÷7.8 характеристики фильтра: площадь фильтровальной поверхности  $518 \text{ м}^2$ , количество секций – 6, количество рукавов в секции – 72, диаметр рукава 127 мм, высота рукава 3 м, габариты фильтра (длина × ширина × высота, м)  $14,5 \times 3,7 \times 9,5$ . Гидравлическое сопротивление в рабочем состоянии 1600 Па, производительность до  $3,33 \text{ м}^3/\text{с}$ , удельная газовая нагрузка до  $0,005 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{с})$ .

2. Общий расход запыленных газов  $W = 5 \text{ м}^3/\text{с}$ . Расход газов на регенерацию обратной продувкой примем в количестве 10% от общего расхода обрабатываемых газов. При отсутствии опытных данных по удельной нагрузке пришлось бы принимать ориентировочные значения по таблице 7.10.

По этой таблице для конденсационных аэрозолей и регенерации обратной продувкой значение  $W_{sf} = 0,0055 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{с})$ , что достаточно близко к справочной удельной нагрузке для фильтра ФР-518. Необходимую величину рабочей площади определим из формулы (7.4):

$$f_{wr} = (5 + 0,5) / 0,005 = 1100 \text{ м}^2.$$

Принимаем к установке 2 фильтра ФР-650 с общей площадью фильтрации  $1300 \text{ м}^2$ .

3. Определим дополнительную площадь  $f_1$  отключаемых при регенерации секций по формуле (7.6), приняв  $\tau=5 \text{ с}$ ;  $n=10$ :

$$f_1 = 2 \cdot 518 \cdot 5 \cdot 10 / 3600 = 14,4 \text{ м}^2.$$

Общая площадь поверхности фильтрации  $f_{tot}=1100+14,4 \cong 1115 \text{ м}^2$  обеспечивается двумя фильтрами ФР-650.

4. Для определения площади фильтрации одной секции  $f_N$  воспользуемся следующими конструктивными данными: количество рукавов - 90, диаметр рукава 0,127 м, высота 3 м. Определяя площадь фильтрации одного рукава как площадь боковой поверхности цилиндра с одинаковыми диаметром и высотой, получим:

$$f_N = 3,14 \cdot 0,127 \cdot 3 \cdot 90 = 107,67 \text{ м}^2.$$

Требуемое число секций находим по формуле (7.7):

$$N' = f_{tot} / f_N = 1115 / 107,67 = 10,4.$$

Число секций в 2 фильтрах ФР-650 составляет 12, что превосходит требуемую величину.

5. По максимально допустимому сопротивлению аппарата и расчётных потерях давления в газоходе выбирается дутьевое устройство.

*Мокрые пылеуловители* обладают рядом преимуществ перед другими типами пылеуловителей. При мокром пылеулавливании достигается контакт запыленного потока с жидкостью в виде капель или пленки, благодаря чему мокрые аппараты являются высокоэффективными пылеуловителями, способными улавливать частицы размером до 0,1 мкм и конкурировать с фильтрационными пылеуловителями и электрофильтрами; они успешно применяются для обеспыливания высокотемпературных газов, взрыво- и пожароопасных сред, когда

использование эффективных пылеуловителей другого типа невозможно или нецелесообразно. С помощью аппаратов мокрого действия можно одновременно решать задачи пылеулавливания и очистки газов от газообразных компонентов, охлаждения и увлажнения газов.

Вместе с тем мокрым аппаратам присущ ряд недостатков, ограничивающих область их применения: использование их требует наличия системы шламоудаления и оборотного водоснабжения, что удорожает процесс пылеулавливания; работа этих аппаратов сопряжена с неизбежными потерями дефицитной воды; сами аппараты и отводящие газоходы в большой степени подвержены коррозии, особенно при очистке агрессивных газов, требуют дополнительных мероприятий по антикоррозийной защите.

Для очистки выбросов от газообразных загрязнителей чаще всего применяют методы *конденсации, абсорбции, адсорбции и термообезвреживания*.

Посредством *конденсации* улавливают и возвращают в технологический процесс пары растворителей, имеющих повышенную температуру кипения и присутствующих в газовой фазе в относительно повышенных концентрациях, удаляемых с поверхности изделий после нанесения функциональных, защитных и окрашивающих слоев. Иногда конденсацию применяют для извлечения из газового потока ценных (дорогостоящих) или особо опасных веществ. При экономически и технически приемлемых параметрах рабочей среды можно перевести в конденсированное состояние пары легкокипящих соединений (обычно используемых в качестве растворителей) с концентрациями не ниже 5...10 г/м<sup>3</sup>. Конденсация более разбавленных загрязнителей представляет технически сложную задачу и требует значительных затрат. Степень улавливания (глубина извлечения) загрязнителя зависит от степени охлаждения и сжатия газовых выбросов. В производственных условиях температуру и давление принимают такими, чтобы энергозатраты на конденсацию составляли незначительную долю общих затрат на технологию. Поэтому степень извлечения даже дорогостоящих продуктов назначают невысокой, как правило, в пределах 70...80%. По этой же причине использовать конденсацию в качестве самостоятельного средства санитарной очистки (т.е. с глубиной извлечения до санитарных норм) неприемлемо. В то же время конденсационная обработка может успешно применяться в многоступенчатых схемах очистки выбросов. Можно назвать, по крайней мере, три направления в области газоочистки, где конденсация не только полезна, но и необходима. Это предварительное осаждение основной массы паров загрязнителей перед адсорберами при высокой степени загрязнения выбросов; парциальное извлечение паров,

содержащих соединения фосфора, мышьяка, тяжелых металлов, галогенов перед термообезвреживанием смеси загрязнителей; конденсация загрязнителей после химической обработки с целью перевода в легкоконденсируемые соединения, например, после хемосорбционных аппаратов.

По способу взаимодействия охлаждающей и охлаждаемой среды конденсаторы разделяют на контактные и поверхностные. В контактных конденсаторах охлаждаемые газы и хладоноситель смешиваются, а в поверхностных разделены твердой стенкой. Поверхностные конденсаторы по конструкции сходны с поверхностными теплообменниками – подогревателями, холодильниками, испарителями. Наиболее часто для конденсации используются кожухотрубные и пластинчатые конструкции. Кожухотрубные конденсаторы могут компоноваться вертикально или горизонтально. Конденсируемые газы обычно направляют в их межтрубное, а хладоноситель – в трубное пространство.

Жидкие аэрозоли (туманы) могут быть скоагулированы посредством изменения состояния (охлаждения и повышения давления) с целью осаждения в последующем с использованием как правило мокрых способов улавливания в мокрых скрубберах, пористых и электрических фильтрах, в абсорберах.

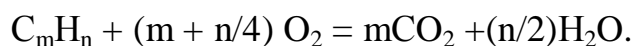
*Абсорбционной обработке* могут быть подвергнуты выбросы (например  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_m\text{H}_n$ ), загрязнители которых хорошо растворяются в абсорбенте.

В качестве абсорбента чаще всего используются вода или органические жидкости на основе этанола или метанола, кипящие при высокой температуре. В аппаратах с органическими абсорбентами можно обрабатывать выбросы, не содержащие твердых примесей, которые практически не поддаются отделению от поглотительной жидкости. Для некоторых газовых загрязнителей можно успешно применить химическую абсорбцию (хемосорбцию) – процесс, в котором подлежащий удалению загрязнитель вступает в химическую реакцию с поглотителем и образует нейтральное или легко удаляемое из процесса соединение. Такие процессы специфичны и разрабатываются конкретно для каждого вида выбросов и набора загрязнителей.

Самым универсальным средством очистки выбросов от газообразных загрязнителей в настоящее время остается *адсорбция*, а наиболее универсальным адсорбентом – активированный уголь. Посредством адсорбции принципиально возможно извлечь из выбросов любой загрязнитель в широком диапазоне концентраций. Однако высококонцентрированные загрязнители (ориентировочно с концентрациями более  $5 \text{ г/м}^3$ ) удобнее подвергать предварительной обработке (конденсацией, абсорбцией) для снижения их концентраций.

Необходима также предварительная обработка (осушка) сильно увлажненных газов. Перспективны к применению адсорбционные аппараты с возможностью рекуперации уловленных органических растворителей (сероуглерода, бензина, ацетона, толуола, ксилола, бутилацетата и др.).

К сожалению, часто в качестве универсального средства очистки выбросов рассматривается *термообезвреживание*, каковым оно на самом деле не является [19]. Сущность термического способа очистки выбросов, содержащих газы и твердые примеси органического происхождения (сажу, частицы углерода, древесную пыль и др.), заключается в нагреве их до температур, превышающих температуру самовоспламенения токсичных компонентов и выдержке их в присутствии кислорода. При этом горючие компоненты выбросов переходят в менее токсичные или нейтральные вещества. Например, реакция окисления углеводородов происходит с образованием углекислого газа и паров воды



Однако в термоокислительных процессах необратимо теряется качество воздуха, использованного для горения, а продукты окисления, выбрасываемые в атмосферу, содержат некоторое количество новых токсичных веществ – оксид углерода (II) CO и оксиды азота NO<sub>x</sub>. Вообще область применения термообезвреживания ограничена только соединениями, в молекулах которых нет других элементов, кроме углерода, водорода и кислорода. Получить нетоксичные продукты реакции любых других соединений с кислородом принципиально невозможно. Термоокислительная обработка выбросов, загрязненных углеводородами или кислородными производными углеводородов, ограничивается также по затратам топлива на создание требуемых температур в зоне реакции (400...550°C для термокаталитической обработки и 800...1200°C для непосредственного термоокисления, т.е. сжигания в пламени). Чтобы обеспечить максимальное окисление исходных загрязнителей до относительно нейтральных CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, процесс термообезвреживания должен осуществляться в топочных устройствах, соответствующих условиям, обеспечивающим полное окисление загрязнителей. По этой же причине *сжигание* органических соединений *в открытом пламени* не может быть отнесено к способу термического обезвреживания. Канцерогенная копоть факелов химических предприятий, с легкостью преодолевающая санитарно-защитную зону, показывает, что это серьезный источник загрязнения окружающей среды, а не средство защиты атмосферы.

Основными факторами, определяющими эффективность термического дожигания, являются температура нагрева вентиляционных выбросов, время их выдержки при этой температуре и качество перемешивания.

Выбор устройства термической очистки производится по расходу топлива  $B_o$ , необходимого для подогрева выбросов до заданной температуры, который определяется по формуле

$$B_o = \frac{LC_T(t_T - t_D)}{Q_H h_o}, \quad (7.8)$$

где  $t_T$  – температура нагрева газовых выбросов, °С;  $t_D$  – температура газовых выбросов, поступающих в камеру дожига, °С;  $Q_H$  – низшая теплотворная способность топлива, кДж/м<sup>3</sup>, кДж/кг [22];  $h_o$  – тепловой КПД очистного устройства;  $C_T$  – средняя теплоемкость выбросных газов в интервале температур, МДж/(м<sup>3</sup>°С), МДж/(кг°С) [22].

При термическом дожигании предварительный подогрев выбросов важен не только с точки зрения экономии расхода топлива, но и качества очистки. Он осуществляется при использовании теплоты очищенных газов. Степень рекуперации составляет 0,2-0,7.

Теплотворная способность и средние теплоёмкости некоторых веществ приведены в таблице 7.11.

Таблица 7.11

**Низшая теплотворная способность и средние теплоёмкости некоторых веществ**

Вещество	$Q_H$ , кДж/кг	$C_T$ , кДж/(кг°С)
Ацетон	31500	2180
Бензины, нефрас	41900-46000	2090-2800
Бензол	40300	1700
Керосин	43500	1880-2090
Ксилолы	41120-43154	1840
Сольвент	41900	н.д.
Спирт бутиловый	36200	2560
Спирт этиловый	25000-27200	2430
Стирол	43640	1740-2480
Толуол	40660	1720
Уайт-спирит	43966	1840
Углерода оксид	10103	1042
Фенол	32240	2350
Формальдегид	74500	1177
Циклогексанон	н.д.	1800

Температуры самовоспламенения некоторых веществ приведены в таблице 7.12.

Таблица 7.12

Температура самовоспламенения некоторых веществ, °С [21]

Аммиак	649
Ацетон	465
Бензин	435
Бензол	562
Бутилацетат	228
Водород цианид	538
Дихлорметан	640
Дихлорэтилен	413
Керосин	254
Ксилол	496
Метилэтилкетон	516
Сероводород	260
Спирт бутиловый	345
Спирт метиловый	470
Спирт этиловый	363
Стирол	491
Толуол	535
Уайт-спирит	250
Углерода оксид	652
Фенол	715
Хлорбензол	674
Циклогексанон	495
Этилацетат	486
Этилбензол	466
Этилцеллозольв	238

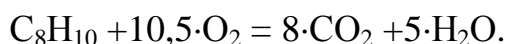
**Пример 7.3.** Из технологической установки удаляются в атмосферу газы в количестве  $L = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$  с температурой  $t = 125^\circ\text{C}$ , концентрацией паров ксилола  $C_n = 10000 \text{ мг}/\text{м}^3$  и содержанием кислорода 18%.

Подобрать автономное устройство термической очистки газовых выбросов, работающее, на мазуте с теплотворной способностью  $Q_n = 42840 \text{ кДж}/\text{кг}$  при средней температуре подогрева газовых выбросов  $t_D = 404^\circ\text{C}$  и обеспечивающее концентрацию паров ксилола не выше ПДК рабочей зоны.

**Решение.** На основании справочных данных [21], [22] находим характеристику вредности, содержащейся в газовых выбросах. Ксилол

$C_8H_{10}$  – температура самовоспламенения  $t_c = 496^\circ\text{C}$ , нижний предел взрываемости в смеси с воздухом  $C_e = 43,5 \text{ г/м}^3$ , конечная концентрация  $C_k = \text{ПДК}_{\text{р.з.}} = 150 \text{ мг/м}^3$ , низшая теплотворная способность  $Q_{\text{н.в}} = 41120 \text{ кДж/кг}$ .

Запишем реакцию обезвреживания ксилола термическим методом



Определим необходимую степень очистки

$$h = \frac{10000 - 150}{10000} \cdot 100 = 98,5\% .$$

Находим минимальную температуру в рабочей камере дожигательного устройства

$$t_T = 1,5 \cdot t_c = 1,5 \cdot 496 = 744 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Расход природного газа на процесс термической очистки определяем по формуле (7.8)

$$B_o = \frac{1000 \cdot 1,84 \cdot (744 - 404)}{42840 \cdot 0,85} = 17,18 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

На основе количества газовых выбросов и расхода топлива подбирают типоразмер устройства термической очистки.

*Каталитическое дожигание* беспламенно. В общем виде кинетику гетерогенного процесса каталитического окисления можно представить в виде пяти элементарных стадий: диффузия исходных веществ к поверхности катализатора, адсорбция, химическая реакция, десорбция, диффузия полученных веществ в свободное газовое пространство.

Каталитическое дожигание применяется для обезвреживания газоздушных выбросов, содержащих небольшие концентрации (не более 25% нижнего предела самовоспламенения) органических соединений, диоксида азота, оксида углерода, неприятнопахнущих веществ с окислением их на поверхности катализатора до элементарного состояния с попутным образованием углекислого газа и воды. Оно неприменимо для высококипящих соединений вследствие неполного сгорания и забивания поверхности катализатора. Катализаторы чувствительны к составу обезвреживаемых газов. Так, некоторые элементы (фосфор, мышьяк,



железо, ванадий, кремний, свинец, сера, галогены) даже в небольших количествах могут «отравлять» катализатор.

Аппарат каталитической очистки состоит из вентилятора для забора газовых выбросов, подогревателя до температур реакции начала каталитического окисления (используется в так называемых «мазутных» схемах для предотвращения отравления катализатора продуктами сгорания мазута), реактора (катализатора) и теплообменника для утилизации тепла очищенных газов. Теплота может быть использована для получения горячей воды, пара, или в балансе источника выделения вредности (например, для сушки окрашенных изделий).

Температура реакции окисления колеблется для различного типа катализаторов от 200 до 430 °С.

Мощность  $N_o$  подогревателя для нагрева газовых выбросов до температур начала реакции каталитического окисления  $t_K$  определяют по формуле

$$N_o = \frac{LC_T(t_K - t)}{3600}, \quad (7.9)$$

Температуры начала реакции каталитического окисления  $t_K$  некоторых органических веществ представлены в таблице 7.13.

Таблица 7.13

**Температура начала реакции глубокого каталитического окисления некоторых веществ, °С [21]**

Альдегиды	316-371
Ацетон	140
Бензин	261-298
Бензол	200-277
Бутилацетат	230
Ксилол	200-240
Лаки	316-371
Растворители	260-400
Сероводород	208-243
Смолы	260-400
Спирт этиловый	261-310
Толуол	314-361
Углерода оксид	316-343
Фенол	216-427
Формальдегид	316-343
Этилацетат	415

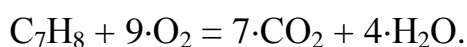
В качестве примера рассмотрим характеристику одного из типов катализатора, предназначенного для очистки газовых выбросов, – НИИОГАЗ [20].

Каталитически активное вещество представляет собой смесь окислов неблагородных металлов с добавками платины и палладия (сотые доли процента), которая нанесена в виде активной пленки на нихромовую проволоку диаметром 0,1-0,2 мм, свитую в спирали диаметром 3-4 мм. Катализатор упакован в пакеты прямоугольной формы и внешне подобен воздушному фильтру. Масса одного каталитического элемента для очистки 800-1000 м<sup>3</sup>/ч выбросов составляет 8-9 кг. Линейные размеры одного пакета 610×305×90 мм. Гидравлическое сопротивление при линейной скорости потока 1-4 м/с порядка 200 Па. Температура реакции начала каталитического окисления для паров органических растворителей 280-300°С. Допустимый разогрев 650°С, объемная скорость 25000-30000 ч<sup>-1</sup>.

**Пример 7.4.** Подобрать устройство каталитической очистки газовых выбросов для технологической установки, имеющей следующую техническую характеристику: количество газовых выбросов в атмосферу  $L = 1500 \text{ м}^3/\text{ч}$ , их температура  $t = 120^\circ\text{C}$ , концентрация паров толуола в выбросах –  $C_n = 8000 \text{ мг}/\text{м}^3$ , требуемая конечная концентрация вредности в очищенных газах –  $C_k = 150 \text{ мг}/\text{м}^3$ , энергоноситель – электроэнергия.

**Решение.** Находим характеристику вредности, содержащейся в газовых выбросах. Толуол, химическая формула  $\text{C}_7\text{H}_8$ , нижний предел взрываемости в смеси с воздухом  $C_v = 49 \text{ г}/\text{м}^3$ , низшая теплотворная способность  $Q_n = 40660 \text{ кДж}/\text{кг}$ , количество воздуха, необходимое для сжигания 1 кг толуола  $L_c = 11,3 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Запишем реакцию процесса обезвреживания паров толуола методом каталитического дожигания



Определяем необходимую степень очистки газовых выбросов

$$h = \frac{8000 - 150}{8000} \cdot 100 = 98,1\% .$$

Выбираем к установке в реактор катализатор типа НИИОГАЗ. Согласно его технической характеристике при температуре подогрева газовых выбросов  $t_k = 350^\circ\text{C}$  обеспечивается степень очистки не менее 98%. Пакет катализатора прямоугольной формы имеет следующие

линейные размеры 610×305×90 мм. Допустимая температура разогрева не выше 650°C, объемная скорость не выше 30000 ч<sup>-1</sup>.

Приняв к установке 3 пакета катализаторов, находим объемную скорость  $w_k$  и сравниваем её с рекомендуемой величиной 30000 ч<sup>-1</sup>.

$$w_k = \frac{L}{V_k} = \frac{1500}{3 \cdot (0,61 \cdot 0,305 \cdot 0,09)} = 29880 \text{ ч}^{-1} < 30000 \text{ ч}^{-1}$$

Определяем температуру очищенных газов  $t_o$  и сравниваем её с допустимой 650°C.

$$t_o = t_k + \frac{Q_H C_H \eta}{C_T \cdot 10^6} = 350 + \frac{40660 \cdot 8000 \cdot 0,98}{1,72 \cdot 10^6} = 535 \text{ °C} < 650 \text{ °C}.$$

Находим мощность подогревателя загрязненных газов в системе каталитической очистки по формуле (7.9)

$$N_o = \frac{1500 \cdot 1,72 \cdot (350 - 120)}{3600} = 164,8 \text{ кВт}.$$

Далее из каталогов по количеству очищаемых газов и мощности выбирают тип реактора и подогревателя.

Различаются одноцелевые и многоцелевые средозащитные мероприятия [17]. Одноцелевые (строительство и эксплуатация очистных и улавливающих сооружений и т.п.) направлены главным образом на снижение загрязнения окружающей среды. Многоцелевые (строительство и эксплуатация систем замкнутого водоснабжения, утилизации отходов) предусматривают, кроме того, достижение таких целей, как уменьшение расхода материальных и трудовых ресурсов, увеличение выпуска продукции, повышение её качества.

Экономический результат (Р) для одноцелевых средозащитных мероприятий выражается в величине предотвращаемого ими годового экономического ущерба от загрязнения среды (П), а для многоцелевых средозащитных мероприятий – в сумме указанной величины (П) и годового прироста дохода (дополнительного дохода) от улучшения производственных результатов деятельности предприятия (ΔД).

Если в период строительства (реконструкции), а также в проектные сроки эксплуатации природоохранных сооружений величины годовых затрат существенно не меняются во времени, то сравнение вариантов

средозащитных мероприятий может производиться по величине их годового чистого экономического эффекта (R). Выбор наилучшего из нескольких вариантов средозащитных мероприятий в этом случае осуществляется по формуле

$$R = (P - Z) \rightarrow \max, \quad (7.10)$$

где Z – величина приведенных затрат.

При сравнении между собой краткосрочных или долгосрочных мероприятий с примерно равными значениями годовых эксплуатационных расходов и одинаковыми размерами капитальных вложений из их числа выбирается вариант, отличающийся минимальной величиной приведенных к годовой размерности затрат, определяемых по формуле

$$Z = C + E_n \cdot K \rightarrow \min, \quad (7.11)$$

где C – годовые эксплуатационные расходы на обслуживание и содержание основных фондов средозащитного назначения, вызвавших полный экономический эффект;

K – капитальные вложения в строительство этих фондов;

$E_n = 0,15$  – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений средозащитного назначения.

Годовые эксплуатационные расходы складываются из затрат на электрообеспечение установки, амортизационных отчислений, затрат на текущий ремонт.

Затраты на электрообеспечение функционирования установки рассчитываются:

$$C_{эл} = L_{yx} \cdot \Delta P \cdot c_э \cdot t \cdot 10^{-3}, \quad (7.12)$$

где  $L_{yx}$  – расход газа, проходящего через очистную установку, м<sup>3</sup>/с;

$\Delta P$  – аэродинамическое сопротивление установки, Па;

$c_э$  – тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч;

t – время функционирования очистной установки в течение года, ч.

Амортизационные отчисления берут в размере 2,7% от капитальных вложений в установку, затраты на текущий ремонт принимают в размере 3,3% от капитальных вложений.

Абсолютная экономическая эффективность капитальных вложений в средозащитные мероприятия (Э) определяется путем деления годового объема полного экономического эффекта (P) за вычетом

эксплуатационных расходов (С) на содержание и обслуживание средозащитных объектов на величину капитальных вложений (К), обеспечивающих этот результат. Получаемые в результате расчетов показатели общей эффективности средозащитных затрат сравниваются с нормативным коэффициентом экономической эффективности капиталовложений  $E_n$ .

К капитальным вложениям средозащитного назначения (К) независимо от источников их финансирования относятся единовременные затраты на:

- создание новых и реконструкцию существующих основных фондов, предотвращающих (сокращающих) отрицательное воздействие хозяйственной деятельности на окружающую среду;
- модификацию технологии производства, осуществляемую исключительно с целью снижения его неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

Капитальные вложения в охрану воздушного бассейна включают в себя единовременные затраты на строительство установок для улавливания и обезвреживания веществ из газов, отходящих от технологических агрегатов, а также из вентиляционного воздуха перед выбросом в атмосферу.

К капитальным вложениям в охрану воздушного бассейна не относятся затраты, направляемые на строительство дымовых труб и газоходов и на создание санитарно-защитных зон.

К эксплуатационным расходам (С) средозащитного назначения относятся:

- текущие затраты на содержание и обслуживание основных фондов средозащитного назначения (ежегодные затраты на основную и дополнительную заработную плату обслуживающего персонала, планово-предупредительный, текущий и капитальный ремонты, амортизационные отчисления на полное восстановление, энергетические расходы и др.);
- текущие затраты, связанные с осуществлением мероприятий, способствующих улучшению качественных характеристик элементов окружающей среды, как относимые за счет основной деятельности, так и осуществляемые за счет ежегодных ассигнований из бюджета и других источников;
- дополнительные затраты на эксплуатацию основных производственных фондов, обусловленные совершенствованием производственной технологии, с целью снижения неблагоприятного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду.

### Дополнение к примеру пункта 6:

Экономический результат для одноцелевого средозащитного мероприятия выражается в величине предотвращаемого им годового экономического ущерба от загрязнения среды:

$$\Pi = P = Y_1 - Y_2 = 1172,43 - 442,60 = 729,83 \text{ (тыс. руб./год)}.$$

Если эксплуатационные затраты в связи с установкой дополнительных (четвертых) полей в электрофильтрах составляют 130 тыс. руб./год, а капитальные вложения (единовременные) 2 млн. руб., то для приведенных затрат (З) получим:

$$\begin{aligned} Z &= C + E_n K = 130 \text{ (тыс. руб./год)} + 0,15 \text{ (год}^{-1}\text{)} \cdot 2000 \text{ тыс. руб.} = \\ &= 430 \text{ тыс. руб./год.} \end{aligned}$$

Следовательно, годовой чистый экономический эффект R от установки четвертых полей в электрофильтрах положителен:

$$\begin{aligned} R &= P - Z = 729,83 \text{ тыс. руб./год} - 430 \text{ тыс. руб./год} = \\ &= 299,83 \text{ тыс. руб./год} > 0, \end{aligned}$$

Предложения по нормативам ПДВ вредных веществ в курсовой работе приводятся в виде сокращённой таблицы, рекомендованной в [8].

№ источника	Высота источника	Параметры газовой смеси на выходе из источника			Диаметр источника или размеры	Наименование вр. в-ва	Кол-во вр., в-ва				Концентрации, мг/м <sup>3</sup>	
		ω, м/с	V <sub>г</sub> , м <sup>3</sup> /с	T <sub>г</sub> , °С			тах, г/сек		тах, т/ч		сп	п
							сп	п	сп	п		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Примечание: сп – существующее положение (на момент разработки нормативов ПДВ); п – перспектива (на момент достижения ПДВ).

## Литература

1. Методическая инструкция 38-2007. Дипломное проектирование. – Новополоцк: УО ПГУ, 2007. – 40 с.
2. Челноков, А.А. Основы промышленной экологии / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко. – Мн.: Выш. школа, 2001. – 343 с.
3. Оценка и регулирование качества окружающей природной среды. Справочник инженера-эколога / В.И. Седлецкий [и др.]; под ред. А.Ф. Порядина и А.Д. Хованского. – М.: НУМЦ Минприроды России, изд. дом «Прибой», 1996. – 350 с.
4. Сборник методик по расчёту выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 185 с.
5. Инструкция по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. – Л.: ЛДНТП, 1991.
6. Руководство по контролю загрязнения атмосферы: РД 52.04.186-89. – М.: ГК гидрометеорологии СССР, Минздрав СССР, 1991.
7. Об утверждении нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и ориентировочно безопасных уровней воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест массового отдыха населения: постановление Министерства здравоохранения Респ. Беларусь, 30 дек. 2010 г. № 186.  
Об установлении классов опасности загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, порядка отнесения загрязняющих веществ к определенным классам опасности загрязняющих веществ: постановление Министерства здравоохранения Респ. Беларусь, 21 дек. 2010 г. № 174.  
Об утверждении санитарных норм, правил и гигиенических нормативов "Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ": постановление Министерства здравоохранения Респ. Беларусь, 31 дек. 2008 г. № 240.
8. Рекомендации по оформлению и содержанию проекта нормативов предельно допустимых выбросов в атмосферу (ПДВ) для предприятия. – М.: ГК природы, 1989.
9. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД-86. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 92 с.
10. Строительная климатология и геофизика: СНиП 2.01.01-82. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1982. – 137 с.

11. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями: ГОСТ 17.2.3.02-78. – М.: Изд-во стандартов, 1979.
12. Инструкция по нормированию выбросов (сбросов) загрязняющих веществ в атмосферу и в водные объекты. – М.: Госкомгидромет, 1989.
13. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов: СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.
14. Внуков А.К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 176 с.
15. Денисов, В.В. Экология. – М.: ИКЦ МарТ, 2004. – 672 с.
16. Денисов, С.И. Улавливание и утилизация пылей и газов. – М.: Металлургия, 1991. – 320 с.
17. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. – М.: Экономика, 1986.
18. Рекомендации по проектированию очистки воздуха от пыли в системах вытяжной вентиляции / Под ред. А.И. Пирумова. – М.: Стройиздат, 1985. – 35 с.
19. Зиганшин, М.Г. Проектирование аппаратов пылегазоочистки / М.Г. Зиганшин, А.А. Колесник, В.Н. Посохин. – М.: Экопресс-ЗМ, 1998. – 505 с.
20. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Хрусталёв Б.М. [и др.]. – М.: АСВ, 2005. – 576 с.
21. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчёт содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. – М.: Химия, 1991. – 368 с.
22. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. В 3-х т. / Под ред. Н.В. Лазарева и Э.Н. Левиной. – 7-е изд. перераб. и доп. – Л.: Химия, 1976.
23. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт: ТКП 17.08-01-2006. – Мн.: Минприроды, 2006. – 51 с.
24. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов тяжелых металлов: ТКП 17.08-14-2011. – Мн.: Минприроды, 2011. – 23 с.



25. Методика расчёта жидких и газообразных выбросов окрасочных цехов. – Владимир: ВНИИТИЭМ, 1990.
26. Временные методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями деревообрабатывающей промышленности. – Петрозаводск: ЧИП «Эко-Прогноз», 1992. – 34 с.
27. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов при производстве металлопокрытий гальваническим способом: ТКП 17.08-05-2007. – Мн.: Минприроды, 2007. – 57 с.