

**Е. В. КУЦ,  
И. И. СУХАНОВА**

**ОХРАНА  
ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА**



Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет

**Е. В. Куц, И. И. Суханова**

# **ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА**

Учебное пособие

Санкт-Петербург  
2019

УДК 697.5+697.92:728

*Рецензенты:*

д-р техн. наук, профессор *А. М. Гримитлин* (АВОК «Северо-Запад»);  
канд. физ.-мат. наук, доцент *С. Р. Шиманский* (СПбГАСУ)

**Куц, Е. В.**

Охрана воздушного бассейна : учеб. пособие / Е. В. Куц, И. И. Суханова ; СПбГАСУ. – СПб., 2019. – 109 с.

ISBN 978-5-9227-1054-1

Приведены методики расчетов выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух при сжигании топлива (твердых взвешенных частиц, оксидов серы, азота, углерода), методика расчета выбросов для автотранспортных предприятий, теоретические положения и оценка качества атмосферного воздуха и классификации состояния загрязнения атмосферного воздуха, методика расчета предельно допустимых выбросов. Пособие содержит расчетные задания, данные вариантов, примеры расчетов, справочные данные, необходимые для выполнения расчетов.

Предназначено для студентов всех форм обучения. Рекомендуется к использованию специалистами, получающими второе высшее образование; для профессиональной переподготовки и повышения квалификации.

Табл. 11. Ил. 5. Библиогр.: 14 назв.

*Рекомендовано Учебно-методическим советом СПбГАСУ  
в качестве учебного пособия*

ISBN 978-5-9227-1054-1

© Е. В. Куц, И. И. Суханова, 2019  
© Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет, 2019

## ВВЕДЕНИЕ

С выбросами промышленных предприятий в атмосферный воздух поступают загрязняющие паро-, газообразные, твердые и жидкие органические и неорганические вещества, которые неблагоприятно действуют на организм человека, растения, животных и биогеоценозы в целом. Поэтому необходимо ограничивать поступление вредных веществ в биосферу. Эта задача решается в условиях производства за счет совершенствования технологических процессов, внедрения систем пылегазоочистки. В случае неизбежности выброса вредных веществ в атмосферный воздух необходимо предварительно рассчитывать концентрацию и распределение компонентов выбрасываемой газовой воздушной смеси в приземном слое атмосферы. Эти расчеты выполняются в соответствии с разработанными методиками [1].

Данное учебное пособие предназначено для обучающихся направлений: 13.03.01, 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 08.03.01, 08.04.01 «Строительство», профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция».

В пособии приводятся методики расчетов основных загрязняющих веществ, наиболее массово поступающих в атмосферный воздух (твердых взвешенных частиц, сернистого газа, оксидов серы, азота, углерода, углеводородов), примеры расчетов и варианты заданий для выполнения практических работ.

Приведенные примеры позволяют в конкретных ситуациях грамотно выполнить расчет и подбор оборудования для систем пылегазоочистки.

## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Основные рекомендации по определению качества атмосферного воздуха были даны еще в 1963 г. Всемирной организацией по вопросам здравоохранения при ООН. Чистоту воздуха было рекомендовано определять на основе критериев, соответствующих следующим уровням:

I – прямое или косвенное воздействие загрязнения на человека, животных и растительность обнаружить невозможно;

II – в результате загрязнения воздуха наблюдается раздражение органов чувств человека, вредное воздействие на растительность, уменьшение прозрачности воздуха;

III – вследствие загрязнения воздуха нарушаются жизненно важные физиологические функции и возникают хронические заболевания у человека и животных;

IV – в результате загрязнения воздуха у человека и животных возникают острые заболевания, приводящие к их гибели.

В определенной мере эти рекомендации нашли отражение в Федеральном законе «Об охране атмосферного воздуха» № 96-ФЗ [2]. Закон устанавливает правовые основы охраны атмосферного воздуха и направлен на реализацию конституционных прав граждан на благоприятную окружающую среду и достоверную информацию о ее состоянии.

В законе изложены основные понятия и определения.

**Атмосферный воздух** – жизненно важный компонент окружающей природной среды, представляющий собой естественную смесь газов атмосферы, находящуюся за пределами жилых, производственных и иных помещений.

Наиболее благоприятен для дыхания атмосферный воздух, содержащий (% по объему): азота – 78,08, кислорода – 20,95, инерт-

ных газов – 0,93, углекислого газа – 0,03, прочих газов – 0,01. Необходимо обращать внимание и на содержание в воздухе заряженных частиц – ионов. Так, например, известно благотворное влияние на организм человека отрицательно заряженных ионов кислорода воздуха.

***Вредное (загрязняющее) вещество*** – химическое или биологическое вещество либо смесь таких веществ, которые содержатся в атмосферном воздухе и которые в определенных концентрациях оказывают вредное воздействие на здоровье человека и окружающую природную среду.

***Загрязнение атмосферного воздуха*** – поступление в атмосферный воздух или образование в нем вредных (загрязняющих) веществ в концентрациях, превышающих установленные государством гигиенические и экологические нормативы качества атмосферного воздуха.

***Вредное физическое воздействие*** на атмосферный воздух – шум, вибрации, ионизирующее излучение, температурные и другие физические факторы, изменяющие температурные, энергетические, волновые, радиационные и другие физические свойства атмосферного воздуха, влияющие на здоровье человека и окружающую природную среду.

***Трансграничное загрязнение*** атмосферного воздуха – загрязнение атмосферного воздуха в результате переноса вредных (загрязняющих) веществ, источник которых расположен на территории иностранного государства.

***Неблагоприятные метеорологические условия*** – метеорологические условия, способствующие накоплению вредных (загрязняющих) веществ в приземном слое атмосферного воздуха.

***Предельно допустимый уровень физического воздействия*** на атмосферный воздух – норматив физического воздействия на атмосферный воздух, который отражает предельно допустимый максимальный уровень физического воздействия на атмосферный воздух, при котором отсутствует вредное воздействие на здоровье человека и окружающую природную среду.

***Предельно допустимый норматив вредного физического воздействия*** на атмосферный воздух – норматив, который уста-

навливается для каждого источника шумового, вибрационного, электромагнитного и других физических воздействий на атмосферный воздух и при котором вредное физическое воздействие от данного и всех других источников не приведет к превышению предельно допустимых уровней физических воздействий на атмосферный воздух.

**Технический норматив выброса** – норматив выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для передвижных и стационарных источников выбросов, технологических процессов, оборудования и отражает максимально допустимую массу выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух в расчете на единицу продукции, мощности пробега транспортных или иных передвижных средств и другие показатели.

**Предельно допустимая (критическая) нагрузка** – показатель воздействия одного или нескольких вредных (загрязняющих) веществ на окружающую природную среду, превышение которого может привести к вредному воздействию на окружающую природную среду.

**Предельно допустимый выброс** – норматив предельно допустимого выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для стационарного источника загрязнения атмосферного воздуха с учетом технических нормативов выбросов и фоновое загрязнение атмосферного воздуха при условии не превышения данным источником гигиенических и экологических нормативов качества атмосферного воздуха, предельно допустимых (критических) нагрузок на экологические системы, других экологических нормативов.

**Временно согласованный выброс** – временный лимит выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для действующих стационарных источников выбросов с учетом качества атмосферного воздуха и социально-экономических условий развития соответствующей территории в целях поэтапного достижения установленного предельно допустимого выброса.

**Мониторинг атмосферного воздуха** – система наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, его загрязнением и происходящими в нем природными явлениями, а также оценка и прогноз состояния атмосферного воздуха, его загрязнения.

**Охрана атмосферного воздуха** – система мер, осуществляемая органами государственной власти Российской Федерации, органами государственной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления, юридическими и физическими лицами в целях улучшения качества атмосферного воздуха и предотвращения его вредного воздействия на здоровье человека и окружающую природную среду.

**Гигиенический норматив качества атмосферного воздуха** – критерий качества атмосферного воздуха, который отражает предельно допустимое максимальное содержание вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе и при котором отсутствует вредное воздействие на здоровье человека.

**Экологический норматив качества атмосферного воздуха** – критерий качества атмосферного воздуха, который отражает предельно допустимое максимальное содержание вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе и при котором отсутствует вредное воздействие на окружающую природную среду.

**Качество атмосферного воздуха** – совокупность физических, химических и биологических свойств атмосферного воздуха, отражающих степень его соответствия гигиеническим нормативам качества атмосферного воздуха и экологическим нормативам качества атмосферного воздуха.

Основой регулирования качества атмосферного воздуха населенных мест являются гигиенические нормативы – предельно допустимые концентрации (ПДК) атмосферных загрязнений химических и биологических веществ, соблюдение которых обеспечивает отсутствие прямого и косвенного влияния на здоровье населения и условия его проживания.



# **1. РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ**

Одной из приоритетных задач в области охраны окружающей среды является защита атмосферного воздуха от загрязнения различными вредными веществами. Большое внимание уделяется расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Их расчет осуществляется при текущем технологическом контроле выбросов на предприятии (мониторинг источников загрязнения); инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу; государственном контроле источников выбросов (контроль за соблюдением нормативов предельно допустимых выбросов).

Источников загрязнений достаточно много – транспорт, объекты энергетической отрасли, сжигающие органическое топливо, промышленные предприятия, а также утилизация отходов. Снизить концентрацию вредных примесей в выбросах предприятий можно посредством совершенствования технологических процессов (малоотходное и безотходное производство), предварительной очистки топлива от летучих примесей, установки пылегазоулавливающих аппаратов и т. д.

На практике применяются два метода определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу – расчетный и инструментальный [1].

## **1.1. Расчетный метод**

Расчетный метод основан на наличии удельных нормативов выбросов загрязняющих веществ на единицу сырья, энергии или выпускаемой продукции.

В этом случае массовый выброс загрязняющих веществ определяется по формуле

$$M = q \cdot V, \quad (1.1)$$

где  $M$  – масса выброса, т (кг);  $q$  – удельный выброс на единицу сырья, энергии, продукции, т/т, т/м<sup>3</sup>, ...;  $V$  – объем выпуска продукции в натуральных единицах, т, м<sup>3</sup>, ... .

Применительно к конкретным выбросам расчет обычно выполняется по более сложным зависимостям и полуэмпирическим формулам.

Рассмотрим расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на примере наиболее распространенного источника загрязнения атмосферного воздуха – малых котлов производительностью пара до 30 т/ч. Основными контролируруемыми веществами являются твердые взвешенные частицы (ТВЧ), сернистый ангидрид (SO<sub>2</sub>), двуокись азота (NO<sub>2</sub>) и оксид углерода. Методика предназначена для расчета выбросов вредных веществ с газообразными продуктами сгорания при сжигании твердого топлива, мазута и газа в топках действующих промышленных и коммунальных котлоагрегатов и бытовых теплогенераторов (малолитражные отопительные котлы, отопительно-варочные аппараты, печи).

**Характеристики твердого топлива.** Твердое топливо по степени углефикации исходного органического материала (углефикация – фаза углеобразования, в которой захороненный в недрах Земли торф последовательно превращается, при соответствующих условиях, сначала в бурый, затем в каменный уголь и антрацит) делится на древесину, торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит.

Топливо, которое поступает в топку котла для сжигания, называют рабочим топливом. В общем случае состав органического топлива можно разделить на горючую и негорючую части. Горючая часть представляет собой в основном органические соединения: углерод (С), водород (Н), сера (S), азот, кислород (О). Также горючая часть включает некоторые минеральные соединения, например бисульфид железа FeS<sub>2</sub> (железный колчедан).

Присутствие серы в топливе в значительной степени определяет его склонность к образованию вредных выбросов при сжигании и коррозионную активность продуктов сгорания. Сера заключена как в горючей, так и в минеральной части топлива.

Негорючая часть топлива состоит из влаги ( $W$ ) и минеральной части, образующей при сжигании золу ( $A$ ).

В прил. 1 приведены основные характеристики твердых, жидких и газообразных топлив.

Основные используемые в прил. 1 характеристики топлива следующие:

$W^p$  – влажность топлива, %; влажность твердого топлива оценивается по убыли массы навески ( $1 \pm 0,1$  г), выдерживаемой 30–60 мин в сушильном шкафу при 102–105 °С;

$S^r$  – содержание серы в топливе, %;

$A^r$  – зольность топлива – это характеристика, обуславливающая содержание минеральных примесей в топливе, %;

$V_r^o$  – летучие составные части топлива, м<sup>3</sup>/кг;

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

Минеральные примеси – неорганические (негорючие) соединения, содержащиеся в топливе для сжигания. Ископаемое топливо содержит негорючие минеральные вещества, которые состоят главным образом из глины  $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$ , силикатов  $SiO_2$  и железного колчедана  $FeS_2$ . Кроме того, в их состав входят сульфаты кальция и железа, закись железа, окислы различных металлов, фосфаты, щелочи, хлориды и т. д. Минеральные примеси горючих сланцев в основном состоят из карбонатов кальция  $CaCO_3$  и магнезия  $MgCO_3$ . При сжигании топлива его минеральные примеси в зоне высоких температур ядра факела претерпевают ряд превращений, в процессе которых образуется зола.

Зола представляет собой смесь минералов, находящихся в свободном состоянии или связанных с топливом. Мельчайшие твердые частицы золы подхватываются потоком топочных газов и уносятся из топочной камеры, образуя летучую золу. Последняя загрязняет конвективные поверхности нагрева, снижая их тепловую эффективность. Часть золы, расплавленной в ядре факела, выпадает вниз топочной камеры (шлакоприемник) или прилипает к труб-

ным поверхностям и затвердевает, образуя шлаки. Следовательно, шлак представляет собой твердый раствор минералов, и его химический состав отличается от состава золы.

Если нагревать топливо без доступа воздуха, то из него выделяются газы и пары; они называются летучими составными частями топлива  $V_{\Gamma}^o$ , м<sup>3</sup>/кг; после их выделения остается твердое вещество – кокс. Количество летучих определяют (без водяного пара) в процентах от веса на горючую массу. Количество летучих имеет существенное значение при проектировании топочных устройств, поэтому служит важной характеристикой топлива.

Важнейшей характеристикой топлива служит его **теплота сгорания** или теплотворная способность топлива, под которой понимают количество тепла, которое выделяет один килограмм топлива при полном сгорании, т. е. при таком сгорании не остается горючих элементов. При сгорании топлива содержащаяся в нем вода переходит в водяной пар, на что тратится часть тепла, выделившегося при горении топлива.

В зависимости от того, в каком состоянии (жидком или газообразном) находится вода в продуктах сгорания после их охлаждения, различают теплоту сгорания высшую и низшую. Если продукты сгорания охлаждены до столь низкой температуры, что водяной пар превращается в жидкость и при этом освобождает скрытую теплоту парообразования, то выделившееся в результате горения количество тепла составляет **высшую теплоту сгорания топлива**. Если же продукты горения топлива после охлаждения имеют в своем составе водяной пар и вследствие этого его скрытая теплота парообразования оказалась не использованной, то выделившееся в результате горения тепло называют **низшей теплотой сгорания топлива**  $Q_{\Gamma}^{\prime}$ , МДж/кг.

В котельных установках газы покидают котел при таких температурах, при которых водяной пар, находящийся в них, не конденсируется, а потому с ним уходит тепло, пошедшее на образование пара; таким образом, при горении топлива в котельных установках мы можем использовать лишь его низшую теплоту сгорания.

Горючими элементами в топливе являются углерод С, водород Н и отчасти сера S. Главным образом от содержания углерода

и водорода и зависит количество тепла, выделяющегося при сгорании одного килограмма топлива.

Влага и зола нежелательны в топливе и составляют его балласт, к балласту относят также серу. Большая часть серы топлива не участвует в горении. Образующийся при горении остальной части серы сернистый газ  $\text{SO}_2$  вреден для здоровья людей, для металла котла, строительных конструкций и зеленых насаждений.

*Бурые угли* подразделяют по влажности топлива на три группы:

- Б1 (влажность более 40 %);
- Б2 (влажность 30–40 %);
- Б3 (влажность менее 30 %).

*Каменные угли* разделяют на марки (в зависимости от выхода летучих на сухое беззольное состояние) [3]:

- длиннопламенный – Д;
- газовый – Г;
- жирный – Ж;
- коксовый – К;
- отощенный спекающийся – ОС;
- слабоспекающийся – СС;
- тощий – Т.

По размеру кусков при добыче угли классифицируются на классы: П – плита (более 100 мм); К – крупный (50–100 мм); С – семечка (6–13 мм); Ш – штыб (0–6 мм); Р – рядовой шахтный (0–200 мм).

Расчет выбросов, образующихся при сжигании топлива, по основным контролируемым веществам в выбросах приведен в [1].

**Расчет выбросов твердых частиц** летучей золы и недогоревшего топлива (т/год, г/с), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегата в единицу времени при сжигании твердого топлива и мазута, выполняется по формуле

$$M_{\text{тв.ч}} = BA^r \chi (1 - \eta), \quad (1.2)$$

где  $B$  – расход топлива, т/год, г/с;  $A^r$  – зольность топлива, %;  $\eta$  – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях.

$$\chi = a_{\text{ун}} / (100 - \Gamma_{\text{ун}}),$$

где  $a_{\text{ун}}$  – доля золы топлива в уносе, %;  $\Gamma_{\text{ун}}$  – содержание горючего в уносе, %.

Значения  $A^r$ ,  $\Gamma_{\text{ун}}$ ,  $a_{\text{ун}}$ ,  $\eta$  принимаются по фактическим средним показателям, при отсутствии этих данных  $A^r$  определяется по характеристикам сжигаемого топлива (прил. 1),  $\eta$  – по техническим данным применяемых золоуловителей, а коэффициент  $\chi$  – по табл. 1.1.

Таблица 1.1

**Значения коэффициентов в зависимости от вида топки и топлива**

Тип топки	Топливо	$\chi$	$K_{\text{CO}_2}$ , кг/ГДж
С неподвижной решеткой и ручным забросом топлива	Бурые и каменные угли	0,0023	2,0
	Антрациты АС и АМ	0,0030	1
	Антрациты АРШ	0,0078	0,8
С пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой	Бурые и каменные угли	0,0026	0,7
	Антрацит АРШ	0,0088	0,6
С цепной решеткой притяжного хода	Антрацит АС и АМ	0,0020	0,4
С забрасывателями и цепной решеткой	Бурые и каменные угли	0,0035	0,7
Шахтная	Твердое топливо	0,0019	2,0
Шахтно-цепная	Торф кусковой	0,0019	1,0
Наклонно-переталкивающая	Эстонские сланцы	0,0025	2,9
Слоевые топки бытовых теплоагрегатов	Дрова	0,0050	14,0
	Бурые угли	0,0011	16,0
	Каменные угли	0,0011	7,0
	Антрацит, тощие угли	0,0011	3,0
Камерные топки:			
паровые и водогрейные котлы	Мазут	0,010	0,13
	Газ природный, попутный и коксовый	–	0,1
бытовые теплогенераторы	Газ природный	–	0,05
	Легкое жидкое (печное) топливо	0,010	0,08

**Расчет выбросов оксидов серы** в пересчете на  $\text{SO}_2$  (т/год, т/ч, г/с), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегатов в единицу времени, выполняется по формуле

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02BS^r(1 - \eta'_{\text{SO}_2})(1 - \eta''_{\text{SO}_2}), \quad (1.3)$$

где  $B$  – расход натурального твердого и жидкого (т/год, т/ч, г/с) и газообразного (тыс. м<sup>3</sup>/год, тыс. м<sup>3</sup>/ч, л/с) топлива;  $S^r$  – содержание серы в топливе в рабочем состоянии, %;  $\eta'_{\text{SO}_2}$  – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива (для эстонских и ленинградских сланцев принимается равной 0,8; остальных сланцев – 0,5; углей Канско-Ачинского бассейна – 0,2 (березовских – 0,5); торфа – 0,15; экибастузских углей – 0,02; прочих углей – 0,1; мазута – 0,02; газа – 0,0);  $\eta''_{\text{SO}_2}$  – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе (для сухих золоуловителей принимается равной нулю, для мокрых – в зависимости от щелочности орошающей воды до 5–15 %).

При наличии в топливе сероводорода расчет выбросов дополнительного количества оксидов серы в пересчете на  $\text{SO}_2$  ведется по формуле

$$M_{\text{SO}_2} = 0,94[\text{H}_2\text{S}]B, \quad (1.4)$$

где  $[\text{H}_2\text{S}]$  – содержание сероводорода в топливе, %.

**Расчет выбросов оксида углерода** в единицу времени (т/год, г/с) выполняется по формуле

$$M_{\text{CO}} = 0,001C_{\text{CO}}B\left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \quad (1.5)$$

где  $B$  – расход топлива, т/год, тыс. м<sup>3</sup>/год, г/с, л/с;  $C_{\text{CO}}$  – выход оксида углерода при сжигании топлива (кг/т, кг/тыс. м<sup>3</sup> топлива) – рассчитывается по формуле

$$C_{\text{CO}} = q_3RQ_i^r, \quad (1.6)$$

здесь  $q_3$  – потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, %;  $R$  – коэффициент, учитывающий долю потери

теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленной наличием в продуктах сгорания оксида углерода (для твердого топлива  $R = 1$ , для газа  $R = 0,5$ , для мазута  $R = 0,65$ );  $Q_i^r$  – низшая теплота сгорания топлива в рабочем состоянии (МДж/кг, МДж/м<sup>3</sup>);  $q_4$  – потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания топлива, %. При отсутствии эксплуатационных данных значения  $q_3, q_4$  принимаются по табл. 1.2.

Ориентировочная оценка выброса оксида углерода (т/год, г/с) может проводиться по формуле

$$M_{CO} = 0,001 B Q_i^r K_{CO} \left( 1 - \frac{q_4}{100} \right), \quad (1.7)$$

где  $K_{CO}$  – количество оксида углерода на единицу теплоты, выделяющейся при горении топлива (кг/ГДж), принимается по табл. 1.1.

**Количество оксидов азота** (в пересчете на NO<sub>2</sub>), выбрасываемых в единицу времени (т/год, г/с), рассчитывается по формуле

$$M_{NO_2} = 0,001 B Q_i^r K_{NO_2} (1 - \beta), \quad (1.8)$$

где  $B$  – расход натурального топлива за рассматриваемый период времени (т/год, тыс. м<sup>3</sup>/год, г/с, л/с);  $Q_i^r$  – теплота сгорания натурального топлива, МДж/кг, МДж/м<sup>3</sup>;  $K_{NO_2}$  – параметр, характеризующий количество оксидов азота, образующихся на один ГДж тепла, кг/ГДж;  $\beta$  – коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов оксидов азота в результате применения технических решений. Для малых котельных  $\beta$ , как правило, равно нулю.

Значение  $K_{NO_2}$  определяется по графикам (рис. 1.1) для различных видов топлива в зависимости от номинальной нагрузки котлоагрегатов. При нагрузке котла, отличающейся от номинальной,  $K_{NO_2}$  следует умножить на  $\left( \frac{Q_\phi}{Q_n} \right)^{0,25}$  или на  $\left( \frac{D_\phi}{D_n} \right)^{0,25}$ , где  $D_n, D_\phi$  – соответственно номинальная и фактическая паропроизводительность (т/ч);  $Q_n, Q_\phi$  – соответственно номинальная и фактическая мощность (кВт).

Если имеются данные о содержании оксидов азота в дымовых газах (%), то выброс (кг/год) вычисляется по формуле



$$M_{NO_x} = 20,4C_{NO_x}VB\left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \quad (1.9)$$

где  $C_{NO_x}$  – известное содержание оксидов азота в дымовых газах (% по объему), значения  $C_{NO_x}$  (мг/м<sup>3</sup>) для маломощных котлов приведены в табл. 1.3;  $V$  – объем продуктов сгорания топлива (м<sup>3</sup>/кг), при известном коэффициенте избытка воздуха  $\alpha$  (табл. 1.2)  $V = V_r^0 \alpha$ , значения  $V_r^0$  для некоторых топлив даны в прил. 1.

В прил. 1 приведены основные характеристики твердых, жидких и газообразных топлив.

В табл. 1.3 приведены данные об образовании токсичных веществ в процессе выгорания топлив в отопительных котлах мощностью до 85 кВт.

Таблица 1.2

**Характеристика топок котлов малой мощности\***

Тип топки	Топливо	$\alpha$	$q_3$	$q_4$
Топка с цепной решеткой	Донецкий антрацит	1,5–1,6	0,5	13,5/10
Шахтно-цепная топка	Торф кусковой	1,3	1,0	2,0
Топка с пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой прямого хода	Угли типа кузнецких	1,3–1,4	0,5–1	5,5/3
	Угли типа донецких	1,3–1,4	0,5–1	6/3,5
	Бурые угли	1,3–1,4	0,5–1	5,5/4
Топка с пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой обратного хода	Каменные угли	1,3–1,4	0,5–1	5,5/3
	Бурые угли	1,3–1,4	0,5–1	6,5/4,5
Топка с пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой	Донецкий антрацит	1,6–1,7	0,5–1	13,5/10
	Бурые угли типа подмосковных	1,4–1,5	0,5–1	9/7,5
	Бурые угли типа бородинских	1,4–1,5	0,5–1	6/3
	Угли типа кузнецких	1,4–1,5	0,5–1	5,5/3

Тип топки	Топливо	$\alpha$	$q_3$	$q_4$
Шахтная топка с наклонной решеткой	Дрова, дробленые отходы, опилки, торф кусковой	1,4	2	2
Топка скоростного горения	Дрова, щепа, опилки	1,3	1	4/2
Слоевая топка котла паропроизводительностью более 2 т/ч	Эстонские сланцы	1,4	3	3
Камерная топка с твердым шлакоудалением	Каменные угли	1,2	0,5	5/3
	Бурые угли	1,2	0,5	3/1,5
	Фрезерный торф	1,2	0,5	3/1,5
Камерная топка	Мазут	1,1	0,5	0,5
	Газ (природный, попутный)	1,1	0,5	0,5
	Доменный газ	1,1	1,5	0,5
Топка с неподвижной решеткой и ручным забросом топлива	Бурые угли	1,6	2,0	8,0
	Каменные угли	1,5	2,0	7,0
	Антрациты, АМ, АС	1,7	1,0	10,0

\* В графе 3 табл. 1.2 меньшие значения  $\alpha$  приведены для парогенераторов производительностью более 10 т/ч, в графе 5 большие значения – при отсутствии средств уменьшения уноса, меньшие – при остром дутье и наличии возврата уноса, а также для котлов производительностью 25–35 т/ч.

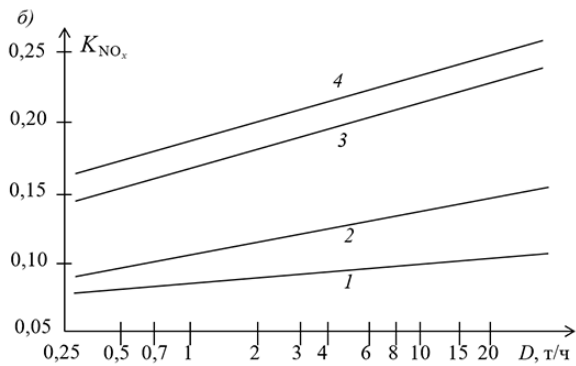
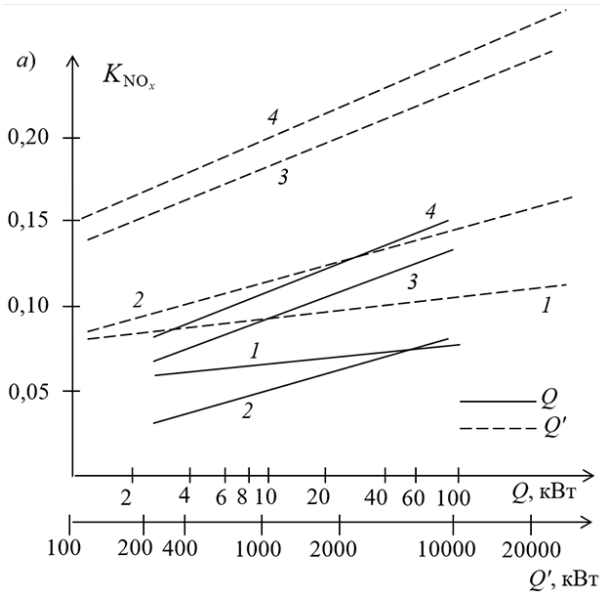


Рис. 1.1. Зависимости  $K_{NO_x}$  от тепловой мощности (а) и паропроизводительности (б) котлоагрегата:  
 1 – природный газ, мазут; 2 – антрацит; 3 – бурый уголь;  
 4 – каменный уголь

Таблица 1.3

**Образование токсичных веществ в процессе выгорания топлив  
в отопительных котлах мощностью до 85 кВт**

Тип котла	Топливо	Режим горения	$C_{26}H_{12}$ , мкг/100 м <sup>3</sup>	$NO_2$ , мг/м <sup>3</sup>	$NO$ , мг/м <sup>3</sup>	$CO$ , %
КС-2	Каменный уголь	Начало выгорания	8,97	5	205	–
		Основной период горения	33,55	25	180	–
КЧМ-3 (7 секций)	Антрацит	Розжиг дров	111,2	6–8	110	–
		Догорание дров	346,1	30–40	70–80	
		Начало погрузки угля	13,6	10	120	0,11
		Конец погрузки	53,6	20	110	0,28
		Основной период горения	17,2–13,4	30	100	0,08
КС-2	Дрова	Разгорание дров	97,4	8–10	90–110	
		Догорание дров	214,6	25–45	60–80	
КЧМ-3 (7 секций)	Природный газ	$a = 1,20$	8–2	2,5	140	0,008
		$a = 1,40$	–	35	150	–
		$a = 1,80$	–	50	150	–
		$a = 2,20$	–	60	160	–
		$a = 2,8$	–	80	180	0,065
КС-3	ТПБ (легкое жидкое топливо)	$a = 1,25$	60	25	250	0,07
		$a = 1,40$	350	80	140	0,02

### **Задание 1**

1. Рассчитать годовой выброс загрязняющих веществ от котельной.
2. Рассчитать максимальный выброс загрязняющих веществ, г/с, для самого холодного месяца.

Исходные данные по вариантам в прил. 2. В прил. 1 приведены основные характеристики твердых, жидких и газообразных топлив.

### Пример 1

Котельная с топкой с пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой работает на каменном угле марки Б2Р Подмосковского бассейна. Мощность котлоагрегата ( $Q$ ) 200 кВт. Расход топлива ( $B$ ) 195 т в год. Расход топлива в самый холодный месяц ( $M_{\text{мес}}$ ) 50 т. Степень очистки газа мокрого золоуловителя по ТВЧ ( $\eta$ ) – 92 %, по сернистому ангидриду ( $\eta''$ ) – 8 %.

*Определить:*

1. Годовой выброс загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу.
2. Максимальный выброс ЗВ для наиболее холодного месяца (г/с).

### Решение

Необходимые данные для расчета (см. прил. 1, 2):

- зольность топлива  $A^r = 39$  %;
  - содержание серы в топливе  $S^r = 4,2$  %;
  - низшая теплота сгорания топлива  $Q_i^r = 9,88$  МДж/кг;
- $A^r = 39$  %;  $S^r = 4,2$  %;  $Q_i^r = 9,88$  МДж/кг;  $\eta' = 0,1$ ;  $R = 1$ ;  
 $\chi = 0,0026$ ;  $q_3 = 2$  %;  $q_4 = 7$  %:

а) расчет выбросов твердых частиц летучей золы и недогоревшего топлива (т/год), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегата в единицу времени при сжигании твердого топлива, выполняется по формуле (1.2)

$$M_{\text{ТВЧ}} = BA^r\chi(1 - \eta) 195 \cdot 39 \cdot 0,0026(1 - 0,92) = 1,16 \text{ т/год};$$

б) расчет выбросов оксидов серы в пересчете на  $\text{SO}_2$  (т/год), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегатов в единицу времени:

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02BS^r(1 - \eta'_{\text{SO}_2})(1 - \eta''_{\text{SO}_2}) =$$

$$= 0,02 \cdot 195 \cdot 4,2 (1 - 0,1)(1 - 0,08) = 14,74 \text{ т/год};$$

в) расчет выбросов оксида углерода в единицу времени (т/год).

Промежуточный расчетный параметр – выход оксида углерода при сжигании топлива  $C_{CO}$ :

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q_i^r = 2 \cdot 1 \cdot 9,88 = 19,76 \text{ кг/т.}$$

Выбросы оксида углерода:

$$\begin{aligned} M_{CO} &= 0,001 B C_{CO} (1 - q_4 / 100) = \\ &= 0,001 \cdot 19,76 \cdot 195 (1 - 0,07) = 35,8 \text{ т/год}; \end{aligned}$$

г) оксиды азота; количество оксидов азота (в пересчете на  $NO_2$ ), выбрасываемых в единицу времени (т/год):

$$\begin{aligned} M_{NO_2} &= 0,001 \cdot B \cdot Q_i^r \cdot K_{NO_2} (1 - \beta) = \\ &= 0,001 \cdot 195 \cdot 9,88 \cdot 0,15 (1 - 0) = 0,288 \text{ т/год.} \end{aligned}$$

$K_{NO} = 0,15$  (по графику).

Для определения максимального секундного выброса ЗВ в расчетные формулы вместо  $B$  (т/год) подставляется расход топлива  $b$  (г/с), рассчитанный для самого холодного месяца:

$$b = \frac{M_{\text{мес}}}{31 \cdot 24 \cdot 3600} = \frac{50 \cdot 10^6}{2,68 \cdot 10^6} = 18,66 \text{ г/с};$$

$$m_{\text{тв.ч}} = M_{\text{тв.ч}} \frac{b}{B} = 1,16 \frac{18,66}{195} = 0,11 \text{ г/с};$$

$$m_{SO_2} = M_{SO_2} \frac{b}{B} = 14,74 \frac{18,66}{195} = 1,40 \text{ г/с};$$

$$m_{CO_2} = M_{CO_2} \frac{b}{B} = 35,8 \frac{18,66}{195} = 3,42 \text{ г/с};$$

$$m_{NO_2} = M_{NO_2} \frac{b}{B} = 0,28 \frac{18,66}{195} = 0,26 \text{ г/с.}$$

## 1.2. Инструментальный метод

Инструментальный метод расчета выбросов ЗВ в атмосферу основан на аналитическом определении концентраций  $c_i$ , мг/м<sup>3</sup>, ЗВ в газоходах и трубах с последующим определением массового выброса  $M$  (т/год) ЗВ по формуле

$$M = \bar{c} V_n t 10^{-9}, \quad (1.10)$$

где  $\bar{c}$  – средняя концентрация ЗВ за расчетный период времени, мг/м<sup>3</sup>;  $V_n$  – объем выбрасываемой газовой смеси, м<sup>3</sup>/с (тыс. м<sup>3</sup>/ч);  $t$  – время, в течение которого выбрасывается ЗВ, с (ч).

Средняя концентрация определяется как среднее арифметическое концентраций, полученных лабораторией экспериментально для данного ЗВ в контролируемом источнике выброса за расчетное время, как правило, год:

$$\bar{c} = \frac{\sum_i^n c_i}{n}, \quad (1.11)$$

где  $c_i$  – концентрация  $i$ -го вещества в газоходе, мг/м<sup>3</sup> (осреднение концентрации ЗВ по сечению газохода обеспечивается правилами отбора проб);  $n$  – количество проб.

Объем выбрасываемой газовой смеси  $V_n$  определяется либо в ходе отбора проб аэродинамическими испытаниями, либо принимается паспортная характеристика, ежегодно проверяемая службой наладки предприятия (например, вентиляционной службой).

### Задание 2

1. Определить годовой валовый выброс загрязняющего вещества, выбрасываемого в атмосферу.
2. Определить максимальный секундный выброс загрязняющего вещества.

Исходные данные по вариантам в прил. 3.

## Пример 2

Из точечного источника выброса непрерывно осуществляется выброс хлористого водорода. Измеренные в течение года концентрации в газоходе после очистки равны (мг/нм<sup>3</sup>): 0,1; 0,35; 1,78; 3,5; 0,8. Объем выбрасываемой газовой смеси 15 тыс. нм<sup>3</sup> в час.

Определить годовой и максимальный секундный выбросы хлористого водорода. Количество рабочих дней в течение года – 200.

### Решение

1. Годовой выброс HCl, т/год:

$$M = \bar{c} \cdot V_n \cdot t \cdot 10^{-9},$$

$$\bar{c} = \frac{\sum_i^n c_i}{n} = \frac{0,1 + 0,35 + 1,78 + 3,5 + 0,8}{5} = 1,3 \text{ мг/нм}^3,$$

$$t = 200 \cdot 24 = 4800 \text{ ч},$$

$$M = 1,3 \cdot 4800 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9} = 0,093 \text{ т/год}.$$

2. Максимальный секундный выброс по максимальному значению  $c_i$ :

$$m = 3,5 \cdot 10^{-3} \frac{15 \cdot 10^3}{3600} = 0,0146 \text{ г/с}.$$



## 2. РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ СТОЯНОК АВТОМОБИЛЕЙ

Расчет выполняется в соответствии с Методикой проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий (расчетным методом) [4]. Под стоянкой автомобилей понимается территория или помещение, предназначенные для хранения автомобилей в течение определенного периода времени.

Автомобили могут размещаться:

- на обособленных открытых стоянках или в отдельно стоящих зданиях и сооружениях (закрытые стоянки), имеющих непосредственный въезд и выезд на дороги общего пользования (расчетная схема 1, рис. 2.1);
- на открытых стоянках или в зданиях и сооружениях, не имеющих непосредственного въезда и выезда на дороги общего пользования и расположенных в границах объекта, для которого выполняется расчет (расчетная схема 2, см. рис. 2.1).

Валовый и максимально разовый выброс загрязняющих веществ при выбранной расчетной схеме 1 определяется только для территории или помещения стоянки, а при схеме 2 – определяется для каждой стоянки автомобилей и для каждого внутреннего проезда. Расчет выброса загрязняющих веществ от многоэтажных стоянок изложен в расчетной схеме 3.

Расчет выбросов загрязняющих веществ выполняется для шести загрязняющих веществ: оксида углерода – CO, углеводородов – CH, оксидов азота – NO<sub>x</sub>, в пересчете на диоксид азота NO<sub>2</sub>, твердых частиц – C, соединений серы, в пересчете на диоксид серы SO<sub>2</sub> и соединений свинца – Pb. Для автомобилей с бен-

зиновыми двигателями рассчитывается выброс  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{Pb}$  ( $\text{Pb}$  – только для регионов, где используется этилированный бензин); с газовыми двигателями –  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ; с дизелями –  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{SO}_2$ .

### Расчетная схема 1

Выбросы  $i$ -го вещества, г, одним автомобилем  $k$ -й группы в день при выезде с территории или помещения стоянки  $M_{1ik}$  и возврате  $M_{2ik}$  рассчитываются по формулам:

$$M_{1ik} = m_{\text{npik}} \cdot t_{\text{np}} + m_{L_{1ik}} \cdot L_1 + m_{\text{xxik}} \cdot t_{\text{xx1}}; \quad (2.1)$$

$$M_{2ik} = m_{L_{2ik}} \cdot L_2 + m_{\text{xxik}} \cdot t_{\text{xx2}}, \quad (2.2)$$

где  $m_{\text{npik}}$  – удельный выброс  $i$ -го вещества при прогреве двигателя автомобиля  $k$ -й группы, г/мин;  $m_{L_{1ik}}$  – пробеговый выброс  $i$ -го вещества автомобилем  $k$ -й группы при движении со скоростью 10–20 км/ч, г/км;  $m_{\text{xxik}}$  – удельный выброс  $i$ -го вещества при работе двигателя автомобиля  $k$ -й группы на холостом ходу, г/мин;  $t_{\text{np}}$  – время прогрева двигателя, мин;  $L_1$ ,  $L_2$  – пробег автомобиля по территории стоянки, км;  $t_{\text{xx1}}$ ,  $t_{\text{xx2}}$  – время работы двигателя на холостом ходу при выезде с территории стоянки и возврате на нее (мин).

Значения удельных выбросов загрязняющих веществ  $m_{\text{npik}}$ ,  $m_{L_{1ik}}$  и  $m_{\text{xxik}}$  для различных типов автомобилей представлены в табл. П 4.1–4.3 прил. 4. В таблицах применяются следующие обозначения:

- тип двигателя: Б – бензиновый, Д – дизель, Г – газовый (сжатый природный газ); при использовании сжиженного нефтяного газа удельные выбросы загрязняющих веществ равны выбросам при использовании бензина, выброс  $\text{Pb}$  отсутствует;
- период года: Т – теплый, Х – холодный;
- условия хранения автомобилей: БП – открытая или закрытая не отапливаемая стоянка без средств подогрева; СП – открытая стоянка, оборудованная средствами подогрева.

Для теплых закрытых стоянок удельные выбросы загрязняющих веществ в холодный и переходный периоды года принимаются равными удельным выбросам в теплый период.

При установке на автомобилях каталитических нейтрализаторов к данным удельных выбросов, приведенных в табл. П 4.1–4.3 прил. 4, применяются понижающие коэффициенты, указанные в примечаниях к таблицам.

Введение понижающих коэффициентов к удельным выбросам, представленных в табл. П 4.1–4.3, при использовании каталитических нейтрализаторов, а также при использовании любых других устройств, предназначенных для снижения выбросов загрязняющих веществ, может осуществляться только по согласованию с региональными органами Госкомэкологии. При этом обязательным условием является наличие официального заключения независимой экспертизы, подтверждающего эффективность применения этих устройств на соответствующих моделях автомобилей в условиях, характерных для движения по территории стоянок.

*Расчетная схема 1*

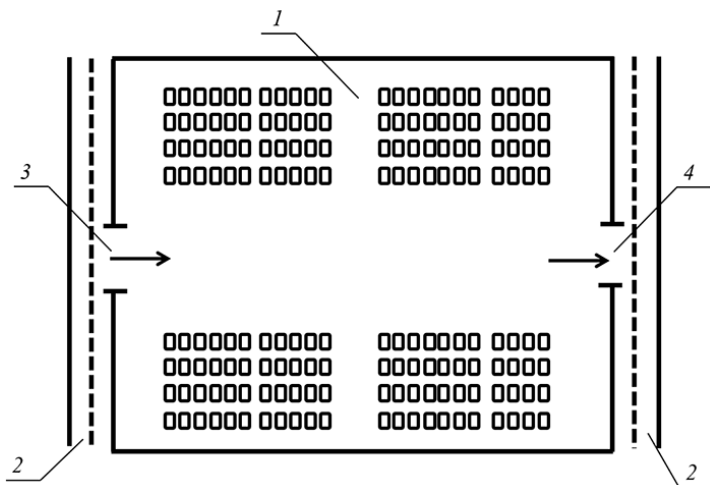


Рис. 2.1. Начало

Расчетная схема 2

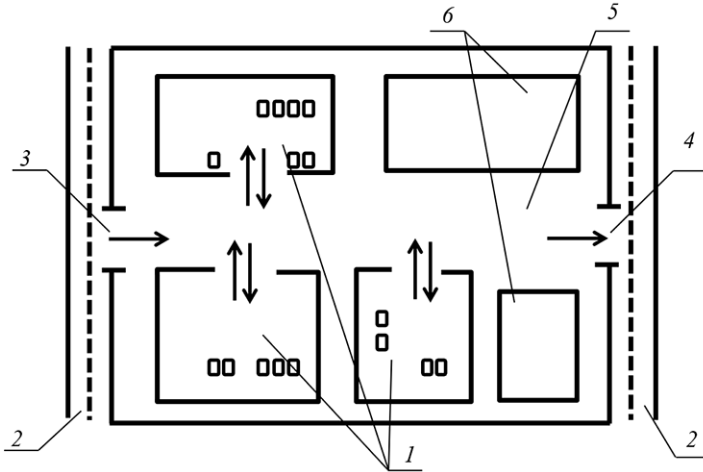


Рис. 2.1. Окончание. Варианты размещения стоянок:  
 1 – территория или помещение стоянки; 2 – дороги общего пользования;  
 3 – въезд с дороги общего пользования; 4 – выезд на дороги общего  
 пользования; 5 – внутренние проезды; 6 – здания и сооружения,  
 не предназначенные для стоянки автомобилей

Приведенные в табл. П 4.1–4.3 удельные выбросы загрязняющих веществ при прогреве и работе двигателя на холостом ходу соответствуют ситуации, когда не осуществляется регулярный контроль и регулирование двигателей. При проведении экологического контроля удельные выбросы загрязняющих веществ автомобилями снижаются, поэтому  $m_{\text{прик}}$  и  $m_{\text{xxik}}$ , г/мин, должны пересчитываться по формулам:

$$m'_{\text{прик}} = m_{\text{прик}} \cdot k_i; \quad (2.3)$$

$$m''_{\text{xxik}} = m_{\text{xxik}} \cdot k_i, \quad (2.4)$$

где  $k_i$  – коэффициент, учитывающий снижение выброса  $i$ -го загрязняющего вещества при проведении экологического контроля (табл. 2.1).

Таблица 2.1

## Значения коэффициентов снижения удельных выбросов

Тип двигателя	Значения $k_i$					
	CO	CH	NO <sub>x</sub>	C	SO <sub>2</sub>	Pb
Б	0,80	0,90	1,00	–	0,95	0,95
Д	0,90	0,90	1,00	0,80	0,95	–

Периоды года (холодный, теплый, переходный) условно определяются по величине среднемесячной температуры. Месяцы, в которых среднемесячная температура ниже  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , относятся к холодному периоду, месяцы со среднемесячной температурой выше  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  – к теплому периоду и с температурой от  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  – к переходному. Длительность расчетных периодов и среднемесячные температуры определяются по [5]. Для удобства расчета в прил. 6 даны значения средней месячной и годовой температуры воздуха для некоторых городов России.

Время прогрева двигателя  $t_{\text{пр}}$  зависит от температуры воздуха (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Время прогрева двигателя  $t_{\text{пр}}$  в зависимости от температуры воздуха (открытые и закрытые не отапливаемые стоянки)

Категория автомобиля	Время прогрева $t_{\text{пр}}$ , мин						
	Выше $5\text{ }^{\circ}\text{C}$	Ниже $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$	Ниже $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$	Ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$	Ниже $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	Ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$	Ниже $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$
Легковой автомобиль	3	4	10	15	15	20	20

*Примечания:* 1. При хранении автомобилей на теплых закрытых стоянках принимаются значения  $t_{\text{пр}} = 1,5$  мин.

2. В неучтенных ситуациях  $t_{\text{пр}}$  может приниматься по фактическим замерам.

Средний пробег автомобилей, км, по территории или помещению стоянки  $L_1$  (при выезде) и  $L_2$  (при возврате) определяется по формулам:

$$L_1 = \frac{L_{1Б} + L_{1Д}}{2}; \quad (2.5)$$

$$L_2 = \frac{L_{2Б} + L_{2Д}}{2}, \quad (2.6)$$

где  $L_{1Б}$ ,  $L_{1Д}$  – пробег автомобиля от ближайшего к выезду и наиболее удаленного от выезда места стоянки до выезда со стоянки км;  $L_{2Б}$ ,  $L_{2Д}$  – пробег автомобиля от ближайшего к въезду и наиболее удаленного от въезда места стоянки автомобиля до въезда на стоянку, км.

Продолжительность работы двигателя на холостом ходу при выезде (въезде) автомобиля со стоянки  $t_{xx1} = t_{xx2} = 1$  мин.

Валовый выброс  $i$ -го вещества автомобилями, т/год, рассчитывается отдельно для каждого периода года по формуле

$$M_j^i = \sum_{k=1}^k \alpha_v (M_{1ik} + M_{2ik}) N_k \cdot D_p \cdot 10^{-6}, \quad (2.7)$$

где  $\alpha_v$  – коэффициент выпуска (выезда);  $N_k$  – количество автомобилей  $k$ -й группы на территории или в помещении стоянки за расчетный период;  $D_p$  – количество дней работы в расчетном периоде (холодном, теплом, переходном);  $j$  – период года (Т – теплый, П – переходный, Х – холодный); для холодного периода расчет  $M_i$  выполняется для каждого месяца.

$$\alpha_v = \frac{N_{к.в}}{N_k}, \quad (2.8)$$

где  $N_{к.в}$  – среднее за расчетный период количество автомобилей  $k$ -й группы, выезжающих в течение суток со стоянки.

Для станций технического обслуживания  $\alpha_v$  определяется как отношение фактического количества автомобилей  $k$ -й группы, прошедших техническое обслуживание или ремонт за расчетный период, к максимально возможному количеству автомобилей.

Влияние холодного и переходного периодов года на выбросы загрязняющих веществ учитывается только для выезжающих

автомобилей, хранящихся на открытых и закрытых неотапливаемых стоянках.

Для определения общего валового выброса  $M_i$  валовые выбросы одноименных веществ по периодам года, т/год, суммируются:

$$M_i = M_i^r + M_i^n + M_i^x. \quad (2.9)$$

Максимально разовый выброс  $i$ -го вещества  $G_i$ , г/с, рассчитывается для каждого месяца по формуле

$$G_i = \frac{\sum_{k=1}^k (m_{\text{пр}ik} \cdot t_{\text{пр}} + m_{Lik} \cdot L_1 + m_{\text{xx}ik} \cdot t_{\text{xx}1}) N_k^i}{3600}, \quad (2.10)$$

где  $N_k^i$  – количество автомобилей  $k$ -й группы, выезжающих со стоянки за 1 час, характеризующийся максимальной интенсивностью выезда автомобилей.

Из полученных значений  $G_i$  выбирается максимальное.

## Расчетная схема 2

Расчет валового и максимально разового выброса загрязняющих веществ от каждой стоянки расчетного объекта выполняется согласно расчетной схеме 1.

Валовый выброс  $i$ -го вещества, т/год, при движении автомобилей по рассчитываемому внутреннему проезду расчетного объекта при выезде и возврате  $M_{\text{пр}i}$  рассчитывается отдельно для каждого периода года по формуле

$$M_{\text{пр}i}^i = \sum_{k=1}^k m_{Lik} \cdot L_p \cdot N_{\text{кр}} \cdot D_p \cdot 10^{-6}, \quad (2.11)$$

где  $L_p$  – протяженность рассчитываемого внутреннего проезда, км;  $N_{\text{кр}}$  – среднее количество автомобилей  $k$ -й группы, проезжающих по рассчитываемому внутреннему проезду в сутки;  $j$  – период года.

Для определения общего валового выброса  $M_{\text{пр}i}$  валовые выбросы одноименных веществ по периодам года, т/год, суммируются:

$$M_{\text{пр}i} = \sum_{p=1}^p (M_{\text{пр}i}^r + M_{\text{пр}i}^n + M_{\text{пр}i}^x). \quad (2.12)$$

Максимально разовый выброс  $i$ -го вещества для рассчитываемого внутреннего проезда  $G_{pi}$  рассчитывается для каждого месяца, г/с, по формуле

$$G_{pi} = \frac{\sum_{k=1}^k m_{Lik} \cdot L_p \cdot N'_{kp}}{3600}, \quad (2.13)$$

где  $N'_{kp}$  – количество автомобилей  $k$ -й группы, проезжающих по рассчитываемому проезду за 1 час, характеризующийся максимальной интенсивностью движения.

Из полученных значений  $G_i$  выбирается максимальное.

### Расчетная схема 3

Выброс  $i$ -го вещества, г, одним автомобилем  $k$ -й группы в день при выезде из многоэтажной стоянки  $M_{1ik}$  и возврате  $M_{2ik}$  рассчитывается по формулам:

$$M_{1ik} = m_{прик} \cdot t_{пp} + m_{Lik} (L_1 + 0,5K_{пi} \cdot L_{п}) + m_{xxik} \cdot t_{xx1}; \quad (2.14)$$

$$M_{2ik} = m_{Lik} (L_2 + 0,5K_{пi} \cdot L_{п}) + m_{xxik} \cdot t_{xx2}, \quad (2.15)$$

где  $L_{п}$  – длина пандуса многоэтажной стоянки, км;  $K_{пi}$  – коэффициент, учитывающий изменение выброса загрязняющих веществ при движении по пандусу при выезде и въезде на стоянку (табл. 2.3).

Таблица 2.3

#### Значения коэффициента изменения выброса загрязняющих веществ при движении по пандусу

Тип двигателя	Значения $K_{пi}$					
	CO	CH	NO <sub>x</sub>	C	SO <sub>2</sub>	Pb
Б	<u>2,0</u>	<u>2,0</u>	<u>3,0</u>	–	<u>1,4</u>	<u>1,4</u>
	0,5	0,5	0,2		0,5	0,5
Д	<u>1,5</u>	<u>1,5</u>	<u>3,5</u>	<u>4,0</u>	<u>2,0</u>	–
	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	

*Примечание.* В числителе приведены значения  $K_{пi}$  для подъема по пандусу, в знаменателе – для спуска.



Валовый и общий валовый выброс  $i$ -го вещества рассчитывается по формулам (2.7) и (2.9).

Максимально разовый выброс  $i$ -го вещества  $G'_i$ , г/с, рассчитывается для каждого месяца по формуле

$$G'_i = \frac{\sum_{k=1}^k (M_{1ik} \cdot N'_k + M_{2ik} \cdot N''_k)}{3600}, \quad (2.16)$$

где  $N'_k, N''_k$  – количество автомобилей  $k$ -й группы, выезжающих со стоянки и въезжающих на стоянку за 1 час, характеризующееся максимальной интенсивностью выезда (для подземных многоэтажных стоянок) или въезда (для наземных многоэтажных стоянок).

Из полученных значений  $G_i$  выбирается максимальное.

### Задание 3

1. Определить годовой валовый выброс загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу от стоянки автомобилей.
2. Определить максимально разовый выброс загрязняющего вещества.

Исходные данные по вариантам приведены в прил. 5. Значения удельных выбросов загрязняющих веществ  $m_{\text{прик}}$ ,  $m_{\text{Лик}}$  и  $m_{\text{ххик}}$  для различных типов автомобилей представлены в табл. П 4.1–4.3 прил. 4.

В прил. 6 даны значения средней месячной и годовой температуры воздуха для некоторых городов России.

### Пример 3

№ вар.	Расч. схема	Тип двигателя	Усл. хранен.	Рабоч. $V_{\text{аб}}$ , л	Регулир. и контр. двигат.	$L_{1\text{г}}$ , $L_{2\text{г}}$ , км	$L_{1\text{д}}$ , $L_{2\text{д}}$ , км	$N_k$	$\alpha_{\text{в}}$	$N_k^i, N_{\text{сп}}^i$	$L_p$	$N_{\text{сп}}$	$L_{\text{н}}$	Город
хх	2	Дизельн.	БП	1,2	Да	0,02	0,7	40	0,9	18	1,2	20	–	Тихвин

### Решение

По табл. П 4.1 с типом двигателя дизельный с рабочим объемом 1,2 л и условиями хранения БП (БП – открытая или закрытая не отапливаемая стоянка без средств подогрева) выбираем следующие значения удельных выбросов загрязняющих веществ при прогреве двигателей  $m_{\text{прик}}$ .

Удельные выбросы загрязняющих веществ $m_{\text{прик}}$ , г/мин					
CO	CH	NO <sub>x</sub>	C	SO <sub>2</sub>	Pb
0,21	0,07	0,09	0,004	0,038	–

*Примечание.* В переходный период значения выбросов CO, CH, C, SO<sub>2</sub> и Pb должны умножаться на коэффициент 0,9 от значений холодного периода года. Выбросы NO<sub>x</sub> принимаются равными выбросам в холодный период.

По табл. П 4.2 с типом двигателя дизельный и рабочим объемом 1,2 л выбираем следующие значения пробеговых выбросов по периодам года  $m_{\text{Лик}}$ .

Удельные выбросы загрязняющих веществ $m_{\text{Лик}}$ , г/км											
CO		CH		NO <sub>x</sub>		C		SO <sub>2</sub>		Pb	
T	X	T	X	T	X	T	X	T	X	T	X
0,8	0,9	0,1	0,2	0,80	0,80	0,04	0,06	0,143	0,178	–	–

*Примечание.* В переходный период значения выбросов CO, CH, C, SO<sub>2</sub> и Pb должны умножаться на коэффициент 0,9 от значений холодного периода. Выбросы NO<sub>x</sub> равны выбросам в холодный период.

По табл. П 4.3 с типом двигателя дизельный и рабочим объемом 1,2 л выбираем следующие значения удельных выбросов загрязняющих веществ на холостом ходу  $m_{\text{хлк}}$ .

Удельные выбросы загрязняющих веществ $m_{xxik}$ , г/мин					
СО	СН	NO <sub>x</sub>	С	SO <sub>2</sub>	РЬ
0,1	0,04	0,05	0,002	0,032	–

По прил. 6 определяются следующие данные для города Тихвин:

Республика, край, область, пункт	Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Тихвин	-10,5	-9,3	-4,7	2,8	9,7	14,7	16,6	14,8	9,5	3,6	-1,8	-6,6	3,2

Холодный период, мес.: I, II, XII (90 дней, т. е.  $D_p = 90$ ).

Переходный период, мес.: III, IV, X, XI (122 дня, т. е.  $D_p = 122$ ).

Теплый период, мес.: V, VI, VII, VIII, IX (153 дня, т. е.  $D_p = 153$ ).

## Для вещества СО

### I. Расчет для холодного периода, месяцы – I, II, XII

1. Выбросы  $i$ -го вещества, г, одним автомобилем  $k$ -й группы в день при выезде с территории или помещения стоянки  $M_{1ik}$  и возврате  $M_{2ik}$  рассчитываются по формулам (2.1), (2.2):

$$M_{1ik} = m_{npik} \cdot t_{np} + m_{Lik} \cdot L_1 + m_{xxik} \cdot t_{xx1};$$

$$M_{1ik} = 0,21 \cdot 10 + 0,9 \cdot 0,36 + 0,1 \cdot 1 = 2,524 \text{ г.}$$

$$M_{2ik} = m_{Lik} \cdot L_2 + m_{xxik} \cdot t_{xx2};$$

$$M_{2ik} = 0,9 \cdot 0,36 + 0,1 \cdot 1 = 0,424 \text{ г.}$$

По табл. 2.2 определяется значение  $t_{\text{пр}} = 10$  мин (для II, XII месяцев); для I месяца  $t_{\text{пр}} = 15$  мин.

То есть для I месяца:

$$M_{1ik} = 0,21 \cdot 15 + 0,9 \cdot 0,36 + 0,1 \cdot 1 = 3,574 \text{ г.}$$

Средний пробег автомобилей, км, по территории или помещению стоянки  $L_1$  (при выезде) и  $L_2$  (при возврате) определяется по формулам (2.5), (2.6):

$$L_1 = \frac{L_{1Б} + L_{1Д}}{2};$$

$$L_2 = \frac{L_{2Б} + L_{2Д}}{2};$$

$$L_1 = \frac{0,02 + 0,07}{2} = 0,36 \text{ км};$$

$$L_2 = \frac{0,02 + 0,07}{2} = 0,36 \text{ км.}$$

2. При проведении экологического контроля удельные выбросы загрязняющих веществ автомобилями, г/мин, снижаются, поэтому и должны пересчитываться по формулам (2.3), (2.4):

$$m'_{\text{пр}ik} = m_{\text{пр}ik} \cdot k_i;$$

$$m''_{\text{xx}ik} = m_{\text{xx}ik} \cdot k_i;$$

$$m'_{\text{пр}ik} = 0,21 \cdot 0,9 = 0,189 \text{ г/мин};$$

$$m''_{\text{xx}ik} = 0,1 \cdot 0,9 = 0,09 \text{ г/мин.}$$

По табл. 2.1  $k_i = 0,90$ .

С учетом пересчета удельных выбросов пересчитываются выбросы при выезде и возврате на территорию стоянки:

$$M_{1ik} = 0,189 \cdot 10 + 0,9 \cdot 0,36 + 0,1 \cdot 1 = 2,314 \text{ г};$$

$$M_{2ik} = 0,9 \cdot 0,36 + 0,09 \cdot 1 = 0,414 \text{ г.}$$

Для I месяца:

$$M_{1ik} = 0,189 \cdot 15 + 0,9 \cdot 0,36 + 0,1 \cdot 1 = 3,259 \text{ г.}$$

3. Валовый выброс  $i$ -го вещества автомобилями рассчитывается отдельно для каждого периода года по формуле (2.7)

$$M_j^i = \sum_{k=1}^k \alpha_v (M_{1ik} + M_{2ik}) N_k \cdot D_p \cdot 10^{-6} \text{ т/год.}$$

Так как для холодного периода расчет  $M_i$  выполняется для каждого месяца, то расчет будет следующим:

- для I месяца ( $D_p = 31$ ):

$$M_j^i = 0,9 (3,259 + 0,414) 40 \cdot 31 \cdot 10^{-6} = 0,0041 \text{ т/год;}$$

- для II месяца ( $D_p = 28$ ):

$$M_j^i = 0,9 (2,314 + 0,414) 40 \cdot 28 \cdot 10^{-6} = 0,0027 \text{ т/год;}$$

- для XII месяца ( $D_p = 31$ ):

$$M_j^i = 0,9 (2,314 + 0,414) 40 \cdot 31 \cdot 10^{-6} = 0,0030 \text{ т/год.}$$

То есть  $M_j^x = 0,0041 + 0,0027 + 0,0030 = 0,0098 \text{ т/год.}$

## II. Расчет для переходного периода, месяцы (III, IV, X, XI)

1. Выбросы  $i$ -го вещества, г, одним автомобилем  $k$ -й группы в день при выезде с территории или помещения стоянки  $M_{1ik}$  и возврате  $M_{2ik}$  рассчитываются по формулам аналогично п. I:

$$M_{1ik} = m_{\text{npik}} \cdot t_{\text{np}} + m_{L_{ik}} \cdot L_1 + m_{\text{xxik}} \cdot t_{\text{xx1}};$$

$$M_{1ik} = 0,189 \cdot 4 + 0,81 \cdot 0,36 + 0,1 \cdot 1 = 1,148 \text{ г;}$$

$$M_{2ik} = m_{L_{ik}} \cdot L_2 + m_{\text{xxik}} \cdot t_{\text{xx2}};$$

$$M_{2ik} = 0,81 \cdot 0,36 + 0,1 \cdot 1 = 0,392 \text{ г.}$$

При этом учитываем, что в переходный период значения выбросов CO, CH, C, SO<sub>2</sub> и Pb должны умножаться на коэффициент 0,9 от значений холодного периода года. Выбросы NO<sub>x</sub> принимаются равными выбросам в холодный период.

По табл. 2.2 определяется значение  $t_{\text{пр}} = 4$  мин.

Средний пробег автомобилей по территории или помещению стоянки  $L_1$  (при выезде) и  $L_2$  (при возврате) определяется аналогично п. I.

2. При проведении экологического контроля удельные выбросы загрязняющих веществ автомобилями снижаются и поэтому должны пересчитываться аналогично п. I.

$$m'_{\text{пр}ik} = 0,189 \cdot 0,9 = 0,17 \text{ г/мин};$$

$$m''_{\text{xx}ik} = 0,1 \cdot 0,9 = 0,09 \text{ г/мин}.$$

По табл. 2.1  $K_i = 0,90$ .

С учетом пересчета удельных выбросов пересчитываются выбросы при выезде и возврате на территорию стоянки:

$$M_{1ik} = 0,17 \cdot 4 + 0,81 \cdot 0,36 + 0,09 \cdot 1 = 1,06 \text{ г};$$

$$M_{2ik} = 0,81 \cdot 0,36 + 0,09 \cdot 1 = 0,38 \text{ г}.$$

3. Валовый выброс  $i$ -го вещества автомобилями рассчитывается отдельно для каждого периода года (в данном случае для переходного) по формуле (2.7)

$$M_j^i = \sum_{k=1}^k \alpha_{\text{в}} (M_{1ik} + M_{2ik}) N_k \cdot D_p \cdot 10^{-6};$$

$$M_i^{\text{п}} = 0,9 (1,106 + 0,38) 40 \cdot 122 \cdot 10^{-6} = 0,0065 \text{ т/год}.$$

### III. Расчет для теплого периода, месяцы (V, VI, VII, VIII, IX)

1. Выбросы  $i$ -го вещества одним автомобилем  $k$ -й группы в день при выезде с территории или помещения стоянки  $M_{1ik}$  и возврате  $M_{2ik}$  рассчитываются по формулам аналогично п. I и II:

$$M_{1ik} = 0,21 \cdot 3 + 0,8 \cdot 0,36 + 0,1 \cdot 1 = 1,018 \text{ г};$$

$$M_{2ik} = 0,8 \cdot 0,36 + 0,1 \cdot 1 = 0,388 \text{ г}.$$

По табл. 2.2 определяется значение  $t_{\text{пр}} = 3$  мин.

Средний пробег автомобилей по территории или помещению стоянки  $L_1$  (при выезде) и  $L_2$  (при возврате) определяется аналогично п. I и II.

2. При проведении экологического контроля удельные выбросы загрязняющих веществ автомобилями снижаются и поэтому должны пересчитываться по формулам (2.3), (2.4):

$$m'_{\text{пр}ik} = 0,21 \cdot 0,9 = 0,189 \text{ г/мин};$$

$$m''_{\text{xx}ik} = 0,1 \cdot 0,9 = 0,09 \text{ г/мин};$$

По табл. 2.1  $K_i = 0,90$ .

С учетом пересчета удельных выбросов пересчитываются выбросы при выезде и возврате на территорию стоянки:

$$M_{1ik} = 0,189 \cdot 3 + 0,8 \cdot 0,36 + 0,09 \cdot 1 = 0,945 \text{ г};$$

$$M_{2ik} = 0,8 \cdot 0,36 + 0,09 \cdot 1 = 0,378 \text{ г}.$$

3. Валовый выброс  $i$ -го вещества автомобилями рассчитывается отдельно для каждого периода года (в данном случае для теплого) по формуле (2.7)

$$M_j^i = \sum_{k=1}^k \alpha_{\text{в}} (M_{1ik} + M_{2ik}) N_k \cdot D_p \cdot 10^{-6};$$

$$M_i^T = 0,9(0,945 + 0,378) 40 \cdot 153 \cdot 10^{-6} = 0,0056 \text{ т/год}.$$

#### IV. *Определение общего валового выброса $M_i$*

Валовые выбросы одноименных веществ по периодам года суммируются:

$$M_i = M_i^T + M_i^H + M_i^X = 0,0056 + 0,0065 + 0,0098 = 0,0219 \text{ т/год.}$$

### ***V. Максимально разовый выброс $i$ -го вещества $G_i$***

Максимально разовый выброс  $G_i$ , г/с, рассчитывается для каждого месяца по формуле (2.10)

$$G_i = \frac{\sum_{k=1}^k (m_{\text{пр}ik} \cdot t_{\text{пр}} + m_{L_{ik}} \cdot L_1 + m_{\text{xx}ik} \cdot t_{\text{xx}1}) N'_k}{3600};$$

$$G_{i(\text{I})} = \frac{(0,189 \cdot 15 + 0,9 \cdot 0,36 + 0,1 \cdot 1) 18}{3600} = 0,016;$$

$$G_{i(\text{II})} = \frac{(0,189 \cdot 10 + 0,9 \cdot 0,36 + 0,1 \cdot 1) 18}{3600} = 0,012;$$

$$G_{i(\text{III})} = \frac{(0,17 \cdot 4 + 0,81 \cdot 0,36 + 0,09 \cdot 1) 18}{3600} = 0,0053;$$

$$G_{i(\text{IV})} = \frac{(0,17 \cdot 4 + 0,81 \cdot 0,36 + 0,09 \cdot 1) 18}{3600} = 0,0053;$$

$$G_{i(\text{V})} = \frac{(0,189 \cdot 3 + 0,8 \cdot 0,36 + 0,09 \cdot 1) 18}{3600} = 0,0047;$$

$$G_{i(\text{VI})} = \frac{(0,189 \cdot 3 + 0,8 \cdot 0,36 + 0,09 \cdot 1) 18}{3600} = 0,0047;$$

$$G_{i(\text{VII})} = \frac{(0,189 \cdot 3 + 0,8 \cdot 0,36 + 0,09 \cdot 1) 18}{3600} = 0,0047;$$

$$G_{i(\text{VIII})} = \frac{(0,189 \cdot 3 + 0,8 \cdot 0,36 + 0,09 \cdot 1) 18}{3600} = 0,0047;$$



$$G_{i(IX)} = \frac{(0,189 \cdot 3 + 0,8 \cdot 0,36 + 0,09 \cdot 1) 18}{3600} = 0,0047;$$

$$G_{i(X)} = \frac{(0,17 \cdot 4 + 0,81 \cdot 0,36 + 0,09 \cdot 1) 18}{3600} = 0,0053;$$

$$G_{i(XI)} = \frac{(0,17 \cdot 4 + 0,81 \cdot 0,36 + 0,09 \cdot 1) 18}{3600} = 0,0053;$$

$$G_{i(XII)} = \frac{(0,189 \cdot 10 + 0,9 \cdot 0,36 + 0,1 \cdot 1) 18}{3600} = 0,012.$$

Из полученных значений  $G_i$  выбирается максимальное, т. е.  $G_{i(\text{I мес.})} = 0,016 \text{ г/с.}$

## VI. Расчетная схема 2

Рассчитывается валовый выброс  $i$ -го вещества при движении автомобилей по рассчитываемому внутреннему проезду расчетного объекта при выезде и возврате.  $M_{\text{при}}^i$  рассчитывается отдельно для каждого периода года по формуле (2.11)

$$M_{\text{при}}^i = \sum_{k=1}^k m_{Lik} \cdot L_P \cdot N_{kp} \cdot D_p \cdot 10^{-6} \text{ т/год};$$

$$M_{\text{при}}^I = 0,8 \cdot 1,2 \cdot 20 \cdot 153 \cdot 10^{-6} = 0,0029 \text{ т/год};$$

$$M_{\text{при}}^{II} = 0,81 \cdot 1,2 \cdot 20 \cdot 122 \cdot 10^{-6} = 0,0024 \text{ т/год};$$

$$M_{\text{при}}^X = 0,9 \cdot 1,2 \cdot 20 \cdot 90 \cdot 10^{-6} = 0,0019 \text{ т/год}.$$

Для определения общего валового выброса  $M_{\text{Иi}}$  валовые выбросы одноименных веществ по периодам года суммируются:

$$M_{\text{Иi}} = \sum_{p=1}^p (M_{\text{при}}^I + M_{\text{при}}^{II} + M_{\text{при}}^X), \text{ т. е.}$$

$$M_{\text{ш}} = 0,0029 + 0,0024 + 0,0019 = 0,0072 \text{ т/год.}$$

## VI. Максимально разовый выброс $i$ -го вещества

Для внутреннего проезда  $G_{pi}$ , г/с, рассчитывается для каждого месяца по формуле (2.13)

$$G_{pi} = \frac{\sum_{k=1}^k m_{Lik} \cdot L_p \cdot N'_{kp}}{3600}.$$

$$G_{pi(I)} = \frac{0,9 \cdot 1,2 \cdot 18}{3600} = 0,0054;$$

$$G_{pi(II)} = \frac{0,9 \cdot 1,2 \cdot 18}{3600} = 0,0054;$$

$$G_{pi(III)} = \frac{0,81 \cdot 1,2 \cdot 18}{3600} = 0,0049;$$

$$G_{pi(IV)} = \frac{0,81 \cdot 1,2 \cdot 18}{3600} = 0,0049;$$

$$G_{pi(V)} = \frac{0,8 \cdot 1,2 \cdot 18}{3600} = 0,0048;$$

$$G_{pi(VI)} = \frac{0,8 \cdot 1,2 \cdot 18}{3600} = 0,0048;$$

$$G_{pi(VII)} = \frac{0,8 \cdot 1,2 \cdot 18}{3600} = 0,0048;$$

$$G_{pi(VIII)} = \frac{0,8 \cdot 1,2 \cdot 18}{3600} = 0,0048;$$

$$G_{pi(IX)} = \frac{0,8 \cdot 1,2 \cdot 18}{3600} = 0,0048;$$

$$G_{pi(X)} = \frac{0,81 \cdot 1,2 \cdot 18}{3600} = 0,0049;$$

$$G_{pi(XI)} = \frac{0,81 \cdot 1,2 \cdot 18}{3600} = 0,0049;$$

$$G_{pi(XII)} = \frac{0,9 \cdot 1,2 \cdot 18}{3600} = 0,0054.$$

Из полученных значений  $G_i$  выбирается максимальное, т. е.  
 $G_{pi(IX)} = G_{pi(X)} = G_{pi(XI)} = G_{pi(XII)} = 0,0054$  г/с.

Аналогично выполняются расчеты по другим загрязняющим веществам. После расчета заполняется табл. 2.4 результатов расчета выбросов.

Таблица 2.4

**Результаты расчета выбросов**

Выбросы в атмосферу	CO	CH	NO <sub>x</sub>	C	SO <sub>2</sub>
Валовый выброс по периодам года, т/год:					
холодный период $M_i^x$	0,0098	0,0033	0,0057	0,00031	0,0021
переходный период $M_i^n$	0,0065	0,0022	0,0044	0,0003	0,0014
теплый период $M_i^t$	0,0056	0,0021	0,0052	0,0002	0,0015
Общий валовый выброс $M_p$ , т/год	0,0219	0,0076	0,0153	0,00081	0,005
Максимально разовый выброс вещества $G_p$ , г/с	0,016	0,0058	0,0084	0,00042	0,0033
Валовый выброс вещества, т/год, при движении автомобилей по рассчитываемому внутреннему проезду (для схемы 2):					
холодный период $M_{при}^x$	0,0019	0,0004	0,0017	0,00013	0,00038
переходный период $M_{при}^n$	0,0024	0,0005	0,0023	0,00016	0,00047
теплый период $M_{при}^t$	0,0029	0,0004	0,0029	0,00015	0,00053

Окончание табл. 2.4

Выбросы в атмосферу	CO	CH	NO <sub>x</sub>	C	SO <sub>2</sub>
Общий валовый выброс $M_{\text{в}}$ , т/год (для схемы 2)	0,0072	0,0013	0,0069	0,00044	0,00138
Максимально разовый выброс $G_{\text{р}}$ , г/с (для схемы 2)	0,0054	0,0012	0,0048	0,00036	0,00107

### **3. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА. НОРМИРОВАНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ**

В современном производстве находят применение более 60 тысяч химических веществ и соединений, большинство из которых синтезировано человеком и не встречается в природе. Попадая в окружающую среду и в организм человека, вещества могут вызывать неблагоприятные изменения. Для характеристики возможного воздействия вещества на организм человека используется понятие «вредное вещество».

Вредное вещество – вещество, которое при контакте с организмом человека может вызывать производственные травмы, профессиональные заболевания или нарушения от состояния здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и будущего поколений [6].

В организм химические вещества могут проникать через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт и неповрежденную кожу. Однако основным путем поступления являются легкие. Большинство случаев заболеваний и отравлений связано с поступлением токсических веществ в организм человека именно через органы дыхания. Этот путь наиболее опасен, так как вредные вещества поступают через разветвленную систему легочных альвеол (100–120 м<sup>2</sup>) непосредственно в кровь и разносятся по всему организму.

Токсическое действие вредных веществ характеризуется показателями токсичности. Токсичность – это мера несовместимо-

сти вещества и организма. Она оценивается абсолютным количеством вещества, вызывающим тот или иной биологический эффект.

**Среднесмертельные дозы** (концентрации  $LD_{50}$ ) – это показатели абсолютной токсичности.

$LD_{50}$  ( $LK_{50}$ ,  $CL_{50}$ ), мг/м<sup>3</sup>, – средняя смертельная концентрация в воздухе. Это концентрация вещества, вызывающая гибель 50 % подопытных животных при 2–4-часовом ингаляционном воздействии.

$LD_{50}$ ,  $DL_{50 ж}$ , мг/кг, – средняя смертельная доза при введении в желудок. Это доза вещества, вызывающая гибель 50 % подопытных животных при однократном введении в желудок.

$LD_{50}$ ,  $DL_{50 к}$ , мг/кг, – средняя смертельная концентрация при нанесении на кожу.

Степень токсичности вещества определяется как  $1/DL_{50}$  или  $1/CL_{50}$ . Поэтому чем меньше  $DL_{50}$  или  $CL_{50}$ , тем токсичнее вещество.

**Порог хронического действия**  $Lim_{cr}$  – минимальная (пороговая) концентрация вредного вещества, вызывающего вредное действие в хроническом эксперименте по 4 часа 5 раз в неделю на протяжении не менее 4 месяцев.

**Порог острого действия**  $Lim_{ac}$  – минимальная (пороговая) концентрация вредного вещества, вызывающая изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящих за пределы приспособительных физиологических реакций.

**Зона острого действия**  $Z_{ac}$  – отношение среднесмертельной концентрации ( $LK_{50}$  к порогу острого действия  $Lim_{ac}$ ):

$$Z_{ac} = LK_{50} / Lim_{ac} . \quad (3.1)$$

Это соотношение показывает размах концентраций, оказывающих действие на организм при однократном поступлении, от начальных до крайних, влияющих наиболее неблагоприятно.

**Зона хронического действия**  $Z_{cr}$  – отношение порога острого действия  $Lim_{ac}$  к порогу хронического действия  $Lim_{cr}$ :

$$Z_{cr} = Lim_{ac} / Lim_{cr} . \quad (3.2)$$

Это соотношение показывает, насколько велик разрыв между концентрациями, вызывающими начальные явления интоксикации при однократном и длительном поступлении в организм.

Чем меньше зона острого действия, тем опаснее вещество, поскольку даже небольшое превышение пороговой концентрации может вызвать смертельный исход. Чем шире (больше) зона хронического действия, тем опаснее вещество, так как концентрации, оказывающие хроническое действие, значительно меньше вызывающих острое отравление.

**Козэффициент возможного ингаляционного отравления (КВМО)** – отношение максимально достигаемой концентрации вредного вещества в воздухе при 20 °С к средней смертельной концентрации вещества для мышей.

Основным критерием качества атмосферного воздуха являются нормативы **предельно допустимых концентраций (ПДК)**.

Под действием веществ могут наблюдаться острые и хронические отравления.

Острые наблюдаются при кратковременном действии больших доз веществ (менее суток). Происходят в результате аварий, поломок оборудования, при ошибочном приеме внутрь, сильном загрязнении кожных покровов и т. д. Например, чрезвычайно быстрое отравление может наступить при воздействии паров бензина, сероводорода высоких концентраций и закончиться гибелью от паралича дыхательного центра, если пострадавшего сразу же не вынести на свежий воздух.

Хронические отравления возникают при длительном воздействии небольших доз веществ. Отравления развиваются вследствие накопления массы вредного вещества в организме или вызываемых ими нарушений в организме. При воздействии малыми концентрациями к ядам, вызывающим хронические отравления, относятся, например, хлорированные углеводороды, диоксины, ртуть и др.

Существуют различные классификации вредных веществ, в основу которых положено их действие на человеческий организм.

## *Классификация вредных веществ*

В соответствии с [7], вредные вещества по характеру воздействия на организм делятся на шесть групп.

1. Токсические (общетоксические) – вызывающие отравление всего организма или поражающие его отдельные системы (углеводороды, сероводород, оксид углерода и др.). Приводят к расстройствам нервной системы, паталогическим изменениям печени, почек, мышечным судорогам, нарушениям структуры ферментов, влияют на кроветворные органы, взаимодействуют с гемоглобином.

2. Раздражающие – хлор, аммиак, диоксид серы, туманы кислот, оксиды азота и др. Воздействуют на слизистые оболочки, верхние и глубокие дыхательные пути.

3. Сенсibiliзирующие – формальдегид, растворители, органические азокрасители, лаки на основе нитро- и нитрозосоединений и др. Повышают чувствительность организма к химическим веществам, а в производственных условиях приводят к аллергическим заболеваниям. Сенсibiliзация – это состояние организма, при котором повторное воздействие вещества вызывает больший эффект, чем предыдущее.

4. Мутагенные, приводящие к нарушению генетического кода, изменению наследственной информации (этиленамин, окись этилена, хлорированные углеводороды, соединения свинца и ртути и др.), оказывают воздействие на неполовые (соматические) клетки, входящие в состав всех органов и тканей человека, а также на половые клетки (гаметы). Воздействие мутагенных веществ на соматические клетки вызывает изменения в генотипе человека, контактирующего с этими веществами. Они обнаруживаются в отдаленном периоде жизни и проявляются в преждевременном старении, повышении общей заболеваемости, злокачественных новообразованиях. При воздействии на половые клетки мутагенное влияние сказывается на последующее поколение, иногда в очень отдаленные сроки.

5. Канцерогенные, вызывающие злокачественные новообразования (бенз(а)пирен, нитроазосоединения, ароматические угле-



водороды и др.) вызывают развитие всех видов раковых заболеваний. Этот процесс может быть отдален от момента воздействия вещества на годы и даже десятилетия.

6. Тератогенные, влияющие на репродуктивную (детородную) функцию человека (аммиак, ртуть, стирол, многие химические вещества в больших количествах), вызывают возникновение врожденных пороков развития и отклонений от нормальной структуры у потомства, влияют на развитие плода в матке и послеродовое развитие и здоровье потомства.

Обычно человек подвергается воздействию сразу нескольких вредных веществ или вредных веществ в сочетании с другими факторами воздействия. **Комбинированное действие вредных веществ** – это одновременное или последовательное действие на организм нескольких веществ при одном и том же пути поступления.

Различают следующие виды комбинированного действия веществ.

1. Аддитивное (однаправленное, суммарное) действие – это суммарный эффект смеси, равный сумме действующих компонентов. Аддитивность характерна для веществ однонаправленного действия. Вещества действуют на одни и те же системы в организме (диоксид азота и диоксид серы; диоксид серы, окись углерода, диоксид азота, фенол; наркотическое действие смеси углеводородов бензола и изопропиленбензола.)

2. Независимое действие. Одно вещество действует на один орган, другое – на другой. Комбинированный эффект не отличается от изолированного действия каждого яда в отдельности (смесь продуктов сгорания и пыли, бензол и раздражающие газы). Преобладает эффект наиболее токсичного вещества.

3. Потенцированное действие (синергизм). Одно вещество усиливает действие другого. Эффект комбинированного действия при синергизме выше аддитивного (совместное действие диоксида серы и хлора).

4. Антагонизм. Одно вещество ослабляет действие другого. При этом эффект комбинированного действия менее ожидаемого.

5. Сочетательное действие. Действие веществ в сочетании с температурой, влажностью, ионизирующими излучениями, шу-

мом и др. Главной причиной увеличения токсичности веществ при сочетательном действии является изменение функционального состояния организма и, как следствие этого, уменьшение его приспособительных реакций.

Для ограничения неблагоприятного воздействия вредных веществ применяют гигиеническое нормирование их содержания в различных средах.

Наибольшее практическое применение для характеристики токсичности веществ имеют санитарно-гигиенические показатели. Они представляются в виде предельно допустимых концентраций (ПДК).

ПДК (или ПДУ) – это максимальное значение фактора, который, воздействуя на человека изолированно или в сочетании с другими факторами, не вызывает у него и у его потомства биологических изменений, даже скрытых и временно компенсируемых. ПДК и ПДУ устанавливают для производственной и окружающей среды.

**Основой регулирования качества атмосферного воздуха** населенных мест являются гигиенические нормативы – предельно допустимые концентрации атмосферных загрязнений химических и биологических веществ, соблюдение которых обеспечивает отсутствие прямого и косвенного влияния на здоровье населения и условия его проживания. ПДК выражаются в миллиграммах (мг) вредного вещества, приходящегося на 1 кубический метр воздуха (мг/м<sup>3</sup>). Оценка качества атмосферного воздуха основана на сравнении фактически измеренной концентрации с ПДК.

**Для воздуха населенных мест** установлены ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест, для которых установлены две нормы ПДК<sub>м.р</sub> и ПДК<sub>с.с</sub> (значения ПДК – в соответствии с [8], 656 веществ; требования – в соответствии с [9]).

В соответствии с [9] в жилой зоне и на других территориях проживания должны соблюдаться ПДК и 0,8 ПДК – в местах массового отдыха населения, на территориях размещения лечебно-профилактических учреждений длительного пребывания больных и центров реабилитации.

Предотвращение появления раздражающих запахов и рефлекторных реакций у населения, а также острого влияния атмосферных загрязнений на здоровье в период кратковременных подъе-

мов концентраций обеспечивается соблюдением максимальных разовых ПДК (ПДК<sub>м.р.</sub>).

Предотвращение неблагоприятного влияния на здоровье населения при длительном поступлении атмосферных загрязнений в организм обеспечивается соблюдением среднесуточных ПДК (ПДК<sub>с.с.</sub>).

ПДК<sub>с.с.</sub> (мг/м<sup>3</sup>) – это концентрация вещества, не оказывающая прямого или косвенного вредного воздействия на человека в условиях неопределенно долгого круглосуточного вдыхания. Она устанавливается для предупреждения общетоксического, канцерогенного и других воздействий.

ПДК<sub>м.р.</sub> (мг/м<sup>3</sup>) – это концентрация вещества, не вызывающая рефлекторных реакций организма при кратковременном (до 20 мин) воздействии загрязнений. Она устанавливается для предупреждения рефлекторных реакций при пиковых выбросах ЗВ.

Рефлекторные реакции – это ощущение неприятных запахов, чихание, кашель, аллергические состояния.

**Для воздуха рабочей зоны** производственных помещений в соответствии с [10, 11] устанавливают предельно допустимые концентрации вредных веществ (в настоящее время действуют ПДК вредных газов, паров и аэрозолей в воздухе рабочей зоны для 2495 химических веществ). Содержание веществ в производственных помещениях не должно превышать ПДК<sub>р.з.</sub> (мг/м<sup>3</sup>) (ПДК в воздухе рабочей зоны).

ПДК<sub>р.з.</sub> (мг/м<sup>3</sup>) – это такая концентрация вещества, которая при ежедневной 8-часовой работе (но не более 40 часов в неделю) в течение всего рабочего стажа не вызывает заболеваний или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами исследований.

В зависимости от ПДК<sub>р.з.</sub> и показателей токсичности все вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности [6].

1. Чрезвычайно опасные – ПДК<sub>р.з.</sub> < 0,1 мг/м<sup>3</sup> (бензапирен, озон, пары ртути).
2. Высокоопасные – 0,1 ≤ ПДК<sub>р.з.</sub> < 1 мг/м<sup>3</sup> (диоксид азота, сероводород, фенол, серная кислота).
3. Умеренно опасные – 1 < ПДК<sub>р.з.</sub> < 10 мг/м<sup>3</sup> (пыль зерновая, сажа, уксусная кислота).

4. Малоопасные – ПДК<sub>р.з</sub> > 10 мг/м<sup>3</sup> (аммиак, ацетон, окись углерода).

При независимом действии веществ их концентрации не должны превышать ПДК, т. е. должно выполняться требование:

$$C_i / \text{ПДК}_i \leq 1. \quad (3.3)$$

При суммарном действии надо учитывать эффект суммации вредного действия:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1. \quad (3.4)$$

То есть сумма отношений фактических концентраций каждого вещества ( $C_i$ ) в воздухе к их ПДК<sub>*i*</sub> не должна превышать единицу. Сейчас известно, что эффектом суммации обладают 52 сочетания веществ [8].

Для того чтобы обеспечить ПДК для атмосферного воздуха населенных мест, установлена еще одна нормативная величина – предельно допустимый выброс (ПДВ), характеризующая объем вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу отдельными источниками загрязнения, при котором в приземном слое обеспечивается соблюдение ПДК.

ПДВ рассчитывают по методам, изложенным в [12, 13].

### **3.1. Классификация состояния загрязнения атмосферного воздуха**

Как правило, на практике в воздухе имеется несколько загрязняющих веществ, поэтому для оценки качества воздуха применяется комплексный показатель – индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), который равен сумме нормированных по ПДК и приведенных к концентрации диоксида серы средних содержаний загрязняющих веществ [14].

Для одного вещества

$$I = \left( \frac{\bar{c}}{\text{ПДК}_{\text{с.с}}} \right)^{K_i}, \quad (3.5)$$

где  $\bar{c}$  – средняя за год концентрация, мг/м<sup>3</sup>; ПДК<sub>с.с.</sub> – среднесуточная ПДК ЗВ, мг/м<sup>3</sup>, в случае отсутствия ПДК<sub>с.с.</sub> вместо нее принимается ПДК<sub>м.р.</sub> или ОБУВ;  $K_i$  – коэффициент, учитывающий класс опасности вещества (1,7 – 1-й класс опасности; 1,3 – 2-й класс опасности; 1,0 – 3-й класс опасности; 0,9 – 4-й класс опасности).

Для нескольких веществ

$$I = \sum_i^n I_i = \sum_i^n \left( \frac{c_i}{\text{ПДК}_{\text{с.с}}} \right)^{K_i}. \quad (3.6)$$

На практике для сравнения качества атмосферного воздуха разных городов используются данные по первым пяти веществам в ряду по степени убывания показателя  $I_i$ .

**Классы экологического состояния** атмосферы определяют по 4-балльной шкале, где класс нормы соответствует уровню загрязнения ниже среднего по стране, класс риска – равен среднему уровню, класс кризиса – выше среднего уровня, класс бедствия – значительно выше среднего уровня. Ранжирование экологического состояния атмосферы по классам осуществляется путем расчета комплексного индекса загрязнения атмосферы (табл. 3.1 в примере 5).

#### **Задание 4**

Сравните качество атмосферного воздуха в городах. Исходные данные по вариантам даны в прил. 7. Значения ПДК загрязняющих веществ даны в прил. 9.

#### **Пример 4**

В городе А концентрации контролируемых ЗВ (мг/м<sup>3</sup>) равны: азота диоксид (NO<sub>2</sub>) – 0,12; серы диоксид (SO<sub>2</sub>) – 0,03; оксид меди (CuO) – 0,003; взвешенные вещества (ТВЧ) – 0,3; фенол – 0,002; скипидар – 0,8.

В городе В: азота диоксид ( $\text{NO}_2$ ) – 0,06; серы диоксид ( $\text{SO}_2$ ) – 0,11; взвешенные вещества (ТВЧ) – 0,18; марганец (Mn) – 0,017; зола мазутная – 0,0045; бутилацетат – 0,08; ксилол – 0,3.

Сравните качество атмосферного воздуха в городах.

### *Решение*

1. Определяем ПДК<sub>с.с.</sub>, мг/м<sup>3</sup>, и классы опасности для веществ. При отсутствии ПДК<sub>с.с.</sub> принимаем ПДК<sub>м.р.</sub>, при отсутствии значений ПДК принимаем ОБУВ.

Азота диоксид ( $\text{NO}_2$ ) – 0,04 (2); серы диоксид ( $\text{SO}_2$ ) – 0,05 (3); оксид меди (CuO) – 0,002 (2); взвешенные вещества (ТВЧ) – 0,15 (3); фенол – 0,003 (2); скипидар – 1,0 (4);

серы диоксид ( $\text{SO}_2$ ) – 0,05 (3); марганец (Mn) – 0,001 (2); зола мазутная – 0,002 (2); бутилацетат – 0,1 (4); ксилол – 0,2 (3).

Находим  $I_i$  для веществ:

*Город А:*

$$I(\text{NO}_2) = \left( \frac{0,12}{0,04} \right)^{1,3} = 4,17;$$

$$I(\text{SO}_2) = \left( \frac{0,03}{0,05} \right)^1 = 0,6;$$

$$I(\text{CuO}) = \left( \frac{0,003}{0,002} \right)^{1,3} = 1,69;$$

$$I(\text{ТВЧ}) = \left( \frac{0,35}{0,15} \right)^1 = 2,33;$$

$$I(\text{Фенол}) = \left( \frac{0,003}{0,002} \right)^{1,3} = 1,69;$$

$$I(\text{скипидар}) = \left( \frac{0,8}{2} \right)^{0,9} = 0,43.$$

2. Находим комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) для города А:

$$I = \sum_i^5 I_i = 4,17 + 2,33 + 1,69 + 1,69 + 0,6 = 10,48.$$

Город В:

$$I(\text{NO}_2) = \left( \frac{0,06}{0,04} \right)^{1,3} = 1,69;$$

$$I(\text{SO}_2) = \left( \frac{0,11}{0,05} \right)^1 = 2,2;$$

$$I(\text{ТВЧ}) = \left( \frac{0,18}{0,15} \right)^1 = 1,2;$$

$$I(\text{зола}) = \left( \frac{0,0045}{0,002} \right)^{1,3} = 2,87;$$

$$I(\text{бутилацетат}) = \left( \frac{0,08}{0,1} \right)^{0,9} = 6,49;$$

$$I(\text{Mn}) = \left( \frac{0,017}{0,01} \right)^{1,3} = 1,99;$$

$$I = \sum_i^5 I_i = 6,49 + 2,87 + 2,2 + 1,99 + 1,69 = 16,93.$$

*Вывод:* воздух городе В загрязнен в большей степени, чем в городе А (в  $16,93 : 10,48 = 1,6$  раза).

### **Задание 5**

Найти класс экологического состояния атмосферы.

Исходные данные по вариантам в прил. 8. ПДК загрязняющих веществ приведены в прил. 9.

### Пример 5

К какому классу относится экологическое состояние атмосферы в Санкт-Петербурге, если среднегодовые концентрации загрязняющих веществ равны (мг/м<sup>3</sup>):

SO<sub>2</sub> = 0,11; NO<sub>2</sub> = 0,03; ТВЧ = 0,1; СО = 1,0; фенол = 0,003; формальдегид = 0,005; бенз(а)пирен = 2,9.

#### Решение

1. Находим комплексный индекс загрязнения атмосферы для каждого из веществ.

$$I_{\text{SO}_2} = \left( \frac{0,11}{0,05} \right)^1 = 2,2;$$

$$I_{\text{NO}_2} = \left( \frac{0,03}{0,04} \right)^{1,3} = 0,7;$$

$$I_{\text{ТВЧ}} = \left( \frac{0,1}{0,15} \right)^1 = 0,67;$$

$$I_{\text{СО}} = \left( \frac{1,0}{3,0} \right)^{0,9} = 0,37;$$

$$I_{\text{фенол}} = \left( \frac{0,003}{0,002} \right)^{1,3} = 1,69;$$

$$I_{\text{формальдегид}} = \left( \frac{0,005}{0,003} \right)^{1,3} = 1,94;$$

$$I_{\text{бенз(а)пирен}} = \left( \frac{2,9}{1,0} \right)^{1,7} = 6,11.$$



2. Находим суммарный индекс загрязнения атмосферы по пяти веществам и определяем класс экологического состояния атмосферы (табл. 3.1).

Таблица 3.1

**Ранжирование экологического состояния атмосферы по классам**

Класс экологического состояния атмосферы	Индекс загрязнения $I$
Норма	$< 5$
Риск	5–8
Кризис	8–15
Бедствие	$>15$

$$I_i = 6,11 + 1,94 + 1,69 + 0,7 + 0,67 = 11,11 > 8 - \text{кризис.}$$

## 3.2. Классификация источников выбросов. Классификация предприятий по степени воздействия на атмосферный воздух

По степени воздействия на атмосферный воздух источники выбросов подразделяются на шесть классов: 1А–5 (по степени убывания). Отнесение того или иного источника выброса к определенному классу производится путем расчета параметров разбавления ( $R$ ) и требуемого потребления воздуха (ТПВ) [14].

**Параметр разбавления  $R$**  приближенно показывает, во сколько раз для заданного отношения  $D/H$  (где  $D$  – диаметр устья источника,  $H$  – высота, м) нужно разбавить чистым воздухом выбрасываемую газоздушную смесь для того, чтобы концентрация примеси в ней стала равной ПДК<sub>м.р.</sub>.

$$R_{ji} = \frac{D_j}{H_j + D_j} \frac{c_{ij}}{\text{ПДК}_{i\text{м.р}}}, \quad (3.7)$$

где  $i$  – вещество;  $j$  – источник.

Параметр требуемого потребления воздуха (ТПВ) показывает расход чистого воздуха, который требуется для разбавления выбросов до концентраций, соответствующих предельно допустимым.

$$\text{ТПВ}_{ji} = 10^3 \frac{M_{ji}}{\text{ПДК}_{i\text{м.р}}}, \quad (3.8)$$

где  $M_{ji}$  – количество  $i$ -го вещества, выбрасываемого  $j$ -м источником, г/с;  $\text{ПДК}_{i\text{м.р}}$  – максимально разовая ПДК, мг/м<sup>3</sup> (по справочнику), в случае отсутствия  $\text{ПДК}_{i\text{м.р}}$  вместо нее принимается  $\text{ПДК}_{\text{с.с}}$  или ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ);  $D_j$  – диаметр устья источника, м;  $H_j$  – высота источника над уровнем земли, м;  $c_{ji}$  – концентрация  $i$ -го вещества в устье источника, мг/м<sup>3</sup>.

$$c_{ji} = \frac{M_{ji}}{V_j}, \quad (3.9)$$

где  $V_j$  – объем выбрасываемой из источника газовой смеси, м<sup>3</sup>/с.

Расчетные параметры  $R_{ji}$  и  $\text{ТПВ}_{ji}$  сравнивают с табл. 3.2 и определяют класс источника выброса. В случае, когда из источника выбрасывается несколько загрязняющих веществ, класс источника определяется по наименьшему значению.

Таблица 3.2

**Классификация источников выбросов ЗВ по степени воздействия на загрязнение воздушного бассейна**

Параметр разбавления $R$	ТПВ, м <sup>3</sup> /с				
	$> 10^2$	$10^4-10^5$	$10^3-10^4$	$10^2-10^3$	$< 10^2$
$> 1000$	IA	I	II	III	III
100–1000	I	II	II	III	III
50–100	II	II	III	III	IV
5–50	II	III	III	IV	IV
$< 5$	III	III	IV	IV	V

Определение класса предприятия по степени его воздействия на атмосферный воздух производится путем расчета параметра  $\Pi$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ):

$$\Pi_i = \sum_{j=1}^n \text{ТПВ}_{ji} \cdot R_{ji}. \quad (3.10)$$

Расчетный параметр  $\Pi_i$  сравнивается с табличным (табл. 3.3) и устанавливается класс предприятия. В случае, когда предприятием выбрасывается несколько загрязняющих веществ, класс предприятия определяется по веществу, имеющему максимальное значение  $\Pi_i$ .

Таблица 3.3

**Классификация предприятий по степени воздействия на загрязнение воздушного бассейна**

Значение параметра $\Pi$ , $\text{м}^3/\text{с}$			
$> 10^8$	$10^8 \dots 10^6$	$10^6 \dots 5 \cdot 10^4$	$< 5 \cdot 10^4$
Класс предприятия			
I	II	III	IV

### Задание 6

Определить:

- 1) класс источников выбросов по степени воздействия на атмосферу;
- 2) класс предприятия (имеющего данные источники выбросов) по степени воздействия на атмосферу.

Исходные данные по вариантам даны в прил. 10. Значения ПДК загрязняющих веществ приведены в прил. 9.

### Пример 6

Определить:

- 1) к какому классу по степени воздействия на атмосферный воздух относятся источники (табл. 3.3);

2) к какому классу по степени воздействия на атмосферный воздух относится предприятие, имеющее источники загрязнения с параметрами согласно табл. 3.4.

Таблица 3.4

**Исходные данные для примера**

№ источника	$H$ , м	$D$ , м	Масса $M$ , г/с	$V$ , м <sup>3</sup> /с в устье источника	Выбрасываемые ЗВ
1	10	0,4	4,8	6,0	Уксусная кислота
2	22	0,9	6,7 4,5	8,0	Сернистый ангидрид H <sub>2</sub> S Двуокись азота NO <sub>2</sub>
3	17	0,3	3,8 1,6	5,0	Пыль древесная Уксусная кислота

*Решение*

1. Определяем параметры  $R_{ji}$  и ТПВ<sub>ji</sub> для всех источников выбросов веществ.

**Источник № 1**

Концентрация вещества в устье источника:

$$c_{\text{укс.кисл}} = \frac{M_{\text{1укс.кисл}}}{V_1} = \frac{4,8}{6} = 0,8 \text{ г/м}^3.$$

Параметр разбавления:

$$R_{\text{1укс.кисл}} = \frac{D_{\text{1укс.кисл}}}{H_{\text{1укс.кисл}} + D_{\text{1укс.кисл}}} \cdot \frac{c_{\text{1укс.кисл}}}{\text{ПДК}_{\text{м.р1укс.кисл}}} =$$

$$= \frac{0,4}{10 + 0,4} \cdot \frac{0,8 \cdot 10^3}{0,2} = 384,5.$$

Параметр требуемого потребления воздуха:

$$\text{ТПВ}_{\text{укс.кисл}} = 10^3 \frac{M_{\text{укс.кисл}}}{\text{ПДК}_{\text{укс.кисл}}} = 10^3 \frac{4,8}{0,2} = 24 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{с}.$$

По табл. 3.2 определяем: источник № 1 относится ко II классу.

## Источник № 2

*Сернистый ангидрид*

Концентрация вещества в устье источника:

$$c_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{6,7}{8} = 0,837 \text{ г/м}^3.$$

Параметр разбавления:

$$c_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{6,7}{8} = 0,837 \text{ г/м}^3.$$

Параметр требуемого потребления воздуха:

$$\text{ТПВ}_{\text{H}_2\text{S}} = 10^3 \frac{6,7}{0,5} = 13,4 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{с}.$$

*Двуокись азота*

Концентрация вещества в устье источника:

$$c_{\text{NO}_2} = \frac{4,5}{8} = 0,562 \text{ г/м}^3.$$

Параметр разбавления:

$$R_{\text{NO}_2} = \frac{0,9}{22 + 0,9} \cdot \frac{0,562 \cdot 10^3}{0,2} = 110,5.$$

Параметр требуемого потребления воздуха:

$$\text{ТПВ}_{\text{NO}_2} = 10^3 \frac{4,5}{0,2} = 22,5 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{с}.$$

По табл. 3.2 определяем: источник № 2 относится: по сернистому ангидриду – к III классу, по двуокиси азота – ко II классу.

Класс источника определяется по наиболее жесткому значению – II класс.

### **Источник № 3**

*Пыль древесная*

Концентрация вещества в устье источника:

$$c_{\text{древес.пыль}} = \frac{3,8}{5} = 0,76 \text{ Г/м}^3.$$

Параметр разбавления:

$$R_{\text{древес.пыль}} = \frac{0,3}{17 + 0,3} \cdot \frac{0,76 \cdot 10^3}{0,5} = 26.$$

Параметр требуемого потребления воздуха:

$$\text{ТПВ}_{\text{древес.пыль}} = 10^3 \frac{3,8}{0,5} = 7,6 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{с}.$$

*Уксусная кислота*

Концентрация вещества в устье источника:

$$c_{\text{зукс.кисл}} = \frac{1,6}{5} = 0,32 \text{ Г/м}^3.$$

Параметр разбавления:

$$R_{\text{зуксус.кисл}} = \frac{0,3}{17 + 0,3} \cdot \frac{0,32 \cdot 10^3}{0,2} = 27,7.$$

Параметр требуемого потребления воздуха:

$$\text{ТПВ}_{\text{зуксус.кисл}} = 10^3 \frac{1,6}{0,2} = 8 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Источник № 3 относится к III классу по уксусной кислоте и древесной пыли.

2. Находим класс предприятия в соответствии с расчетом параметра:

$$P_i = \sum_{j=1}^n \text{ТПВ}_{ji} \cdot R_{ji};$$

$$\begin{aligned} P_{\text{уксус.кисл}} &= P_{1\text{укс.кисл}} + P_{3\text{укс.кисл}} = \\ &= 24 \cdot 10^3 \cdot 384,5 + 8 \cdot 10^3 \cdot 22,7 = 9,4 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}; \end{aligned}$$

$$P_{\text{H}_2\text{S}} = 13,4 \cdot 10^3 \cdot 65,8 = 8,8 \cdot 10^5 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$P_{\text{NO}_2} = 22,5 \cdot 10^3 \cdot 110,5 = 2,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$P_{\text{древес.пыль}} = 7,6 \cdot 10^3 \cdot 26 = 1,9 \cdot 10^5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Класс предприятия определяется по наибольшему значению  $P_i$  – II класс (по табл. 3.3).

Загрязняющее вещество, определяющее класс предприятия, – уксусная кислота.

## 4. РАССЕЙВАНИЕ В АТМОСФЕРЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ. НОРМИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются промышленные предприятия, транспорт, тепловые электростанции и различные другие энергетические объекты. Каждый из этих источников связан с выделением большого количества специфических токсичных веществ. Но наибольший удельный вес загрязнений атмосферного воздуха приходится на долю:

- твердых взвешенных частиц (ТВЧ);
- диоксида серы;
- оксида углерода;
- оксидов азота;
- углеводов.

Это основные компоненты выбросов на сегодня, на их долю приходится не менее 98 % всех выбросов в атмосферу.

Источники выбросов загрязняющих веществ могут быть подвижными (транспорт) и стационарными.

Классификация источников выбросов дана на рис. 4.1.

Выбросы в атмосферу по составу подразделяются:

- на **парогазовые** – они чаще всего образуются в процессе горения, и компоненты в них находятся на молекулярном уровне ( $\text{SO}_2$ , CO и др.);

- **аэрозоли** (пыли, дымы и туманы). Они представляют собой отходящие газы промышленности, содержащие твердые или жидкие частицы, т. е. двухфазные системы.



Системы, состоящие из двух или нескольких фаз, называются неоднородными, или гетерогенными. Фазы, составляющие систему, могут быть отделены одна от другой.

Любая неоднородная система состоит из *дисперсной (внутренней) фазы* и *дисперсионной среды*, или сплошной фазы (внешней), в которой распределены частицы этой дисперсной фазы.

Сплошной фазой в аэрозолях являются газы, а в дисперсной – твердые или жидкие частицы.

*Пыли* образуются при механическом распределении частиц в газе (при дроблении, смешивании и транспортировке сыпучих материалов). Преимущественные размеры твердых частиц пылей – приблизительно 5–100 мкм.

*Дымы* образуются в процессе конденсации паров (газов) при переходе их в жидкое или твердое состояние, при этом образуются твердые взвешенные в газе частицы размером 0,1–5 мкм.

При образовании дисперсной фазы из частиц жидкости примерно таких же размеров (0,3–5 мкм) возникают системы, называемые *туманами*. Также они образуются при распылении жидкости в газе.

По организации отвода и контроля выбросы классифицируются:

- *на неорганизованные выбросы* – поступающие в атмосферу в виде ненаправленных потоков газа в результате нарушения герметичности оборудования, неудовлетворительной работы оборудования в местах загрузки или выгрузки материалов. К неорганизованным относятся выбросы, не имеющие фиксированного устья: выделение вредных веществ с открытых складов строительных материалов, карьеров, хранилищ отходов и т. д.;

- *организованные выбросы* – выбросы, поступающие в атмосферу через специально сооруженные газоходы, воздухопроводы, трубы.

Организованные выбросы имеют фиксированное устье и подразделяются на *точечные* или *одиочные* (источники таких выбросов имеют примерно одинаковые размеры по осям координат; это трубы промышленных предприятий, выбросные шахты систем вентиляции, газоотводные трубы от аппаратов и т. п.) и *линейные* (источники имеют значительную протяженность в направлении, перпендикулярном направлению ветра; это аэрационные фонари, близко расположенные вытяжные шахты и т. п.).

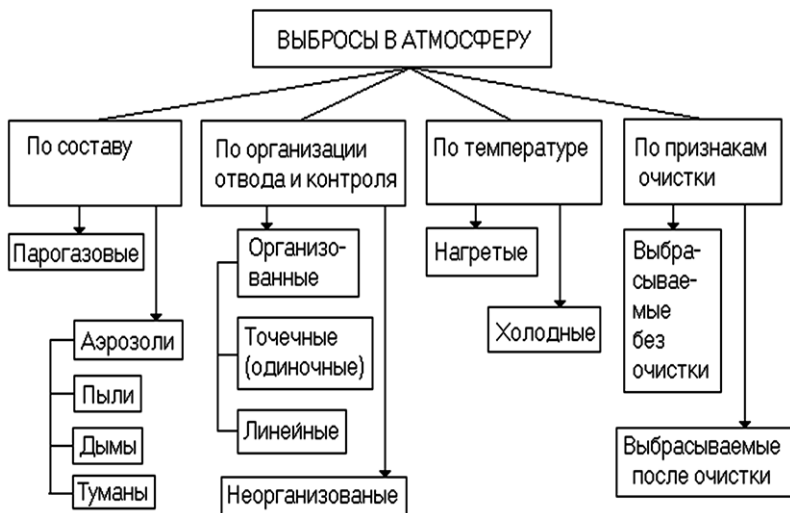


Рис. 4.1. Классификация выбросов в атмосферу

Одиночные выбросы из стационарных источников в зависимости от высоты трубы ( $H$ ) подразделяются:

- на высокие при  $H > 50$  м (выброс осуществляется выше зоны аэродинамической тени здания, сооружения);
- средние при  $H = 10 \dots 50$  м;
- низкие при  $H = 2 \dots 10$  м (выброс поступает в зону подпора или аэродинамической тени здания, сооружения);
- наземные при  $H < 2$  м (в этом случае в расчетах принимают  $H = 2$  м).

Промышленные выбросы считаются *нагретыми*, если их температура выше температуры окружающего атмосферного воздуха.

Без очистки могут выбрасываться как неорганизованные, так и организованные выбросы, после очистки – только организованные.

Для соблюдения требований нормативов [8, 9] величина наибольшей концентрации  $C_m$  каждого вредного вещества в приземном слое атмосферы (слой высотой в 2 м от поверхности земли) не должна превышать величины ПДК<sub>м,р</sub>.

**Предельно допустимый выброс (ПДВ)** – это максимальное количество вредного вещества, допустимое к выбросу из источника в единицу времени при соблюдении условия, что этот выброс от данного источника и от совокупности источников города или другого населенного пункта, с учетом перспективы развития промышленных предприятий и рассеивания вредных веществ в атмосфере, не создаст приземную концентрацию, превышающую его предельно допустимую концентрацию для населения, растительного и животного мира.

Основными критериями качества атмосферного воздуха при установлении ПДВ для источников загрязнения атмосферы являются максимальные разовые ПДК<sub>м.р.</sub>. При этом должно выполняться условие: отношение максимальной расчетной концентрации  $C_m$  вредного вещества в приземном слое воздуха к величине ПДК<sub>м.р.</sub> данного вещества не должно превышать единицы:

$$C_m / \text{ПДК}_{\text{м.р.}} \leq 1. \quad (4.1)$$

При установлении ПДВ учитывают значения **фоновых концентраций**  $C_\phi$  вредных веществ в воздухе (суммарное загрязнение атмосферы от остальных источников города или другого населенного пункта, в том числе и от автотранспорта, за исключением рассматриваемого источника).

Таким образом, величина ПДВ (г/с) из источника для каждого вещества устанавливается исходя из условия:

$$(C_m + C_\phi) \leq \text{ПДК}_{\text{м.р.}} \quad (4.2)$$

или

$$(C_m + C_\phi) / \text{ПДК}_{\text{м.р.}} \leq 1. \quad (4.3)$$

При одновременном присутствии в атмосфере некоторых вредных веществ они могут обладать суммацией вредного действия. Эффектом суммации обладают, например, ацетон и фенол; сернистый ангидрид и двуокись азота; сернистый ангидрид, окись углерода, фенол и пыль конверторного производства, а также целый ряд других веществ [8].

Величина ПДВ подобных веществ устанавливается исходя из условия:

$$\frac{C_{M_1} + C_{\Phi_1}}{\text{ПДК}_{M,P_1}} + \frac{C_{M_2} + C_{\Phi_2}}{\text{ПДК}_{M,P_2}} + \dots + \frac{C_{M_n} + C_{\Phi_n}}{\text{ПДК}_{M,P_n}} \leq 1. \quad (4.4)$$

## **4.1. Расчет приземных концентраций загрязняющих веществ от одиночного точечного источника**

После выхода из устья источника загрязняющие вещества начинают рассеиваться в атмосфере в направлении оси факела выброса. Часть веществ перемещается вверх, часть – горизонтально, часть направляется в нижние воздушные слои. Существенное влияние на характер рассеивания оказывают состояние атмосферы, расположение предприятий, особенности местности, свойства выбросов, высота трубы, скорость ветра и другие факторы.

Скорость горизонтального перемещения загрязнений в основном определяется скоростью ветра  $U$  (м/с). На скорость вертикального перемещения оказывает влияние целый ряд факторов.

Существует пять форм струй, выходящих из устья трубы. Наиболее опасна задымляющая струя, когда вредные вещества стремятся к земле вдоль всей струи. Рис. 4.2 иллюстрирует распределение концентраций вредных веществ в атмосфере при выбросе через высокие трубы в преобладающем направлении ветра.

По мере удаления от источника выброса концентрация вредных веществ в приземном слое атмосферы вначале увеличивается, а затем, достигнув максимума, постепенно уменьшается, что говорит о наличии трех зон загрязнения атмосферы:

- зона переброса факела выброса, характеризующаяся невысокой концентрацией вредных веществ в приземном слое;
- зона задымления, т. е. зона максимального содержания вредных веществ;
- зона постепенного снижения концентраций вредных веществ.

В соответствии с [12, 13] рассчитываются возможные концентрации вредных веществ при неблагоприятных метеоусловиях.

Реальные концентрации вредных веществ в течение года будут значительно ниже расчетных как за счет принятия в расчете жестких метеоусловий, так и за счет учета «фона» и допущения о максимальной производственной нагрузке предприятия.

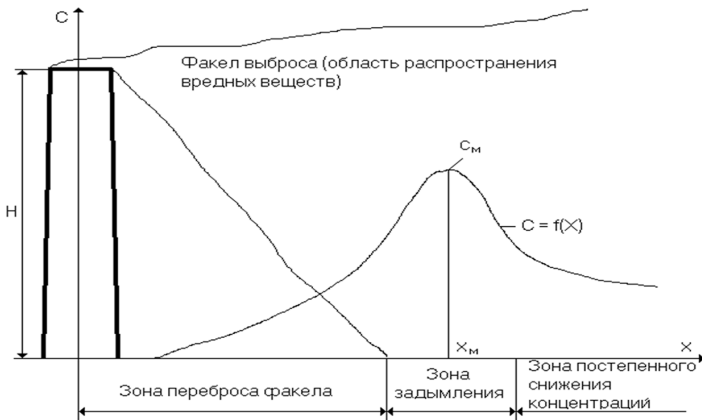


Рис. 4.2 Распределение приземной концентрации вредных веществ в атмосфере:

- $C$  – концентрация вредного вещества в приземном слое,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;
- $X$  – расстояние от трубы (источника выброса), м;
- $H$  – высота трубы (источника выброса), м

Основной расчетной величиной является **максимальная приземная концентрация** вредного вещества  $C_m$  ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ). Ее величину при выбросе нагретой газопылевоздушной смеси из точечного источника с круглым устьем на расстоянии  $X_m$  (м) от источника определяют по формуле [13]

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot t \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (4.5)$$

где  $A$  – коэффициент, учитывающий вероятность возникновения неблагоприятных метеоусловий в различных регионах страны ( $\text{с}^{2/3} \cdot \text{мг} \cdot \text{град}^{1/3}/\text{г}$ ). Для Нижнего Поволжья, Сибири, Дальнего Востока принимают  $A = 200$ ; для Севера и Северо-Запада европейской территории России, Среднего Поволжья и Урала принимают  $A = 160$ ; для центральной части европейской территории  $A = 140$ ;

$M$  – мощность выброса (количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени), г/с. Принимается в соответствии с действующими для данного производства нормативами, определяется расчетом или с помощью анализа. Если известна концентрация вещества  $C^0$  (мг/м<sup>3</sup>) в выбрасываемой из устья источника пылегазовоздушной смеси, то величина  $M$  определяется по формуле

$$M = C^0 \cdot V_1 \cdot 10^{-3}, \quad (4.6)$$

где  $F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе. Для газообразных веществ и мелкодисперсных аэрозолей (пыль, зола и т. п.), скорость оседания которых не превышает 0,05 м/с, принимается  $F = 1$ . Для остальных аэрозолей, выбрасываемых с предварительной очисткой или без нее, коэффициент  $F$  принимается следующим образом:  $F = 2$  при эффективности очистки более 90 %;  $F = 2,5$  при эффективности очистки 75–90 %;  $F = 3$  при эффективности очистки менее 75 % (или при отсутствии очистки);

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

$\eta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий рельеф местности (для равнинной местности  $\eta = 1$ );

$\Delta T$  – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси  $T_г$  и температурой окружающего атмосферного воздуха  $T_в$  (°C); последняя принимается как средняя максимальная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца года по СНиП 23-01-99 «Строительная климатология»;

$V_1$  – расход пылегазовоздушной смеси из устья источника, м<sup>3</sup>/с:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} w_0, \quad (4.7)$$

где  $D$  – диаметр устья источника выброса (диаметр верхней части трубы), м;  $w_0$  – средняя скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса, м/с.

Величина коэффициента  $m$  определяется по формулам

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \sqrt{f} + 0,34 \sqrt[3]{f}}; \quad (4.8)$$

$$f = 10^3 \frac{w_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}. \quad (4.9)$$

Величина коэффициента  $n$  определяется по формулам (4.11)–(4.13) в зависимости от значения параметра  $V_M$ , вычисляемого по формуле

$$V_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}}; \quad (4.10)$$

при  $V_M < 0,5$

$$n = 4,4 V_M; \quad (4.11)$$

при  $0,5 \leq V_M < 2$

$$n = 0,532 V_M^2 - 2,13 V_M + 3,13; \quad (4.12)$$

при  $V_M \geq 2$

$$n = 1. \quad (4.13)$$

Величина максимальной приземной концентрации вредных веществ  $C_M$  достигается на оси факела выброса (по направлению среднего ветра за рассматриваемый период) на расстоянии  $X_M$  (м) от источника выброса:

$$X_M = \frac{5-F}{4} d \cdot H, \quad (4.14)$$

где  $d$  – безразмерная величина, определяемая по формулам:

при  $0,5 \leq V_M \leq 2$

$$d = 4,95 V_M (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}); \quad (4.15)$$

при  $V_m > 2$

$$d = 7\sqrt{V_m} (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}). \quad (4.16)$$

После расчета максимальной приземной концентрации загрязнений  $C_m$  в точке, расположенной на расстоянии  $X_m$  от источника, можно определить приземные концентрации вредных веществ в любой точке в направлении факела выброса (рис. 4.3).

Для расчетов концентраций  $C$  на различных расстояниях  $X$  по оси факела выброса используется формула

$$C = S_1 \cdot C_m. \quad (4.17)$$

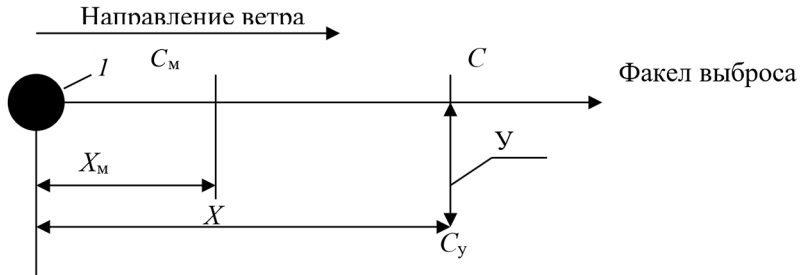


Рис. 4.3. К определению приземных концентраций вредных веществ в направлении факела выброса:  $I$  – источник выброса

Здесь  $S_1$  – безразмерная величина, определяемая в зависимости от отношения  $X/X_m$ :

при  $X/X_m < 1$

$$S_1 = 3(X/X_m)^4 - 8(X/X_m)^3 + 6(X/X_m)^2; \quad (4.18)$$

при  $1 < X/X_m < 8$

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13(X/X_m)^2 + 1}; \quad (4.19)$$

при  $X/X_m > 8$

$$S_1 = \frac{2,55}{0,13(X/X_m)^2 + 9}. \quad (4.20)$$



С наветренной стороны источника выброса ( $X < 0$ ) значения концентраций вредных веществ принимают равными нулю.

Значение приземной концентрации  $C_y$  вредного вещества на расстоянии  $y$  по перпендикуляру к оси факела выброса определяется по формуле

$$C_y = S_2 \cdot C = S_2 \cdot S_1 \cdot C_m, \quad (4.21)$$

где  $S_2$  – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от скорости ветра  $U$  (м/с) и аргумента  $t_y$ :

$$t_y = \frac{U \cdot y^2}{X^2} \quad \text{при } U \leq 5; \quad (4.22)$$

$$t_y = \frac{5 \cdot y^2}{X^2} \quad \text{при } U > 5; \quad (4.23)$$

$$S_2 = \frac{1}{(1 + 5t_y + 12,8t_y^2 + 17t_y^3 + 45,1t_y^4)^2}. \quad (4.24)$$

## 4.2. Расчет ПДВ (для действующих предприятий)

Величину ПДВ можно найти, заменив в формуле (1.23) концентрацию  $C_m$  на разность ( $\text{ПДК}_{\text{м.р}} - C_\phi$ ) и приравняв мощность выброса  $M$  к значению ПДВ. В итоге получим расчетное выражение

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК}_{\text{м.р}} - C_\phi) H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}. \quad (4.25)$$

В случае если  $\text{ПДК}_{\text{м.р}}$  для загрязняющего вещества не установлена, в расчетах принимается значение  $\text{ПДК}_{\text{с.с}}$  или ОБУВ (ориентировочный безопасный уровень воздействия).

В реальных случаях в ПДВ вводятся поправки: на аварийный выброс, существующую и проектируемую жилую застройку, перспективы развития производства.

ПДВ устанавливается отдельно для каждого стационарного источника выбросов, отдельно для каждого вещества при усло-

вии полной загрузки технологического и газоочистного оборудования и их нормальной работы.

По каждому веществу ПДВ для предприятия в целом равен сумме ПДВ от отдельных источников.

### 4.3. Расчет минимальной высоты трубы (для вновь строящихся предприятий)

Если приравнять  $C_m = \text{ПДК}_{\text{м.р}} - C_\phi$ , из формулы (4.5) можно найти минимальную высоту трубы  $H_{\text{min}}$ , при которой обеспечивается нормативное качество воздуха в приземном слое:

$$H_{\text{min}} = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{(\text{ПДК}_{\text{м.р}} - C_\phi) \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}}. \quad (4.26)$$

#### Задание 7

1. Рассчитать максимальную приземную концентрацию  $C_m$  вредного вещества, выделяющегося из точечного источника, и величины приземных концентраций  $C$  этого вещества на различных расстояниях  $X$  от источника по оси факела выброса в преобладающем направлении ветра (принять  $X = 100, 200, 400, 600, 800, 1000$  и  $2000$  м).

Местность равнинная ( $\eta = 1$ ).

2. Построить график изменения концентрации  $C$  вредного вещества в зависимости от расстояния  $X$ . Сравнить с  $\text{ПДК}_{\text{м.р}}$ .

3. Рассчитать приземную концентрацию  $C_y$  в точке, находящейся на расстоянии  $y = 200$  м от точки  $X_m$  по перпендикуляру к оси факела выброса.

4. По имеющимся исходным данным рассчитать ПДВ. При необходимости внести предложения по снижению выбросов.

5. По имеющимся исходным данным рассчитать  $H_{\text{min}}$ . При выполнении заданий 4 и 5 значения фоновых концентраций  $C_\phi$  принять самостоятельно в пределах от 10 до 75 % от  $\text{ПДК}_{\text{м.р}}$ .

Исходные данные по вариантам в прил. 11.

### Пример 7

Из точечного источника высотой  $H = 60$  м выбрасывается газозоодушная смесь, содержащая загрязняющее вещество – двуокись азота. Расход газозоодушной смеси из устья источника  $V_1 = 5700 \text{ м}^3/\text{ч} = 1,58 \text{ м}^3/\text{с}$ . Концентрация загрязняющего вещества в выбрасываемой из устья источника газозоодушной смеси  $C = 5315 \text{ мг}/\text{м}^3$ . Диаметр устья источника выброса  $D = 1,0$  м. Разность между температурой выбрасываемой газозоодушной смеси  $T_r$  и температурой окружающего атмосферного воздуха  $T_b$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) –  $\Delta T = 76$   $^{\circ}\text{C}$ . Выброс осуществляется в городе Кемерово. Предельно допустимая концентрация двуокиси азота ПДК<sub>м,р</sub> = 0,2 мг/м<sup>3</sup>. Скорость ветра  $U = 1$  м/с.

Коэффициент, учитывающий вероятность возникновения неблагоприятных погодных условий, принимаем  $A = 200 \text{ с}^{2/3} \cdot \text{мг} \cdot \text{град}^{1/3}/\text{Г}$ ; коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе, –  $F = 1$ .

#### Решение

1.  $M = 5315 \cdot 1,58 \cdot 10^{-3} = 8,4 \text{ г}/\text{с}$ .

2. Из формулы (1.25) находим  $w_0$ :

$$w_0 = \frac{4V_1}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 1,58}{3,14 \cdot 1,0^2} = 2,0 \text{ м}/\text{с}.$$

3.  $f = 10^3 \frac{2,0^2 \cdot 1,0}{60^2 \cdot 76} = 0,014$ .

4.  $m = \frac{1}{0,67 = 0,1 \sqrt{0,014} + 0,34 \sqrt[3]{0,014}} = 1,3$ .

5.  $V_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{1,58 \cdot 76}{60}} = 0,819$ .

6. По формуле (1.30) находим коэффициент  $n$ :

$$n = 0,532 \cdot 0,819 - 2,13 \cdot 0,819 + 3,13 = 1,7.$$

$$7. C_m = \frac{200 \cdot 8,4 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1,7 \cdot 1}{60^2 \sqrt[3]{1,58 \cdot 76}} = 0,21 \text{ мг/м}^3.$$

$$8. d = 4,95 \cdot 0,819 (1 + 0,28 \sqrt[3]{0,014}) = 4,6.$$

$$9. X_m = \frac{5-1}{4} 4,6 \cdot 60 = 278 \text{ м.}$$

$$10. \text{Для } X = 100 \text{ м: } X/X_m = 100 / 278 = 0,35.$$

Находим значение  $S_1$  по формуле (1.36), так как  $X/X_m < 1$ :

$$S_{1(100)} = 3 \cdot 0,35^4 - 8 \cdot 0,35^3 + 6 \cdot 0,35^2 = 0,454;$$

$$C_{100} = 0,454 \cdot 0,21 = 0,095 \text{ мг/м}^3.$$

$$\text{Для } X = 200 \text{ м: } X/X_m = 200/278 = 0,71.$$

$$S_{1(200)} = 3 \cdot 0,71^4 - 8 \cdot 0,71^3 + 6 \cdot 0,71^2 = 0,93;$$

$$C_{200} = 0,93 \cdot 0,21 = 0,195 \text{ мг/м}^3.$$

Аналогично

$$S_{1(400)} = 0,89 \Rightarrow C_{400} = 0,18 \text{ мг/м}^3.$$

Для  $X = 600, 800, 1000, 2000$  м значения величины  $S_1$  находим по формуле (1.37), так как  $1 < X/X_m < 8$ .

$$S_{1(600)} = 0,706 \Rightarrow C_{600} = 0,148 \text{ мг/м}^3.$$

$$S_{1(800)} = 0,545 \Rightarrow C_{800} = 0,131 \text{ мг/м}^3.$$

$$S_{1(1000)} = 0,421 \Rightarrow C_{1000} = 0,088 \text{ мг/м}^3.$$

$$S_{1(2000)} = 0,146 \Rightarrow C_{2000} = 0,031 \text{ мг/м}^3.$$

По полученным расчетным данным строится график зависимости концентрации вещества  $C$  от расстояния  $X$ .

$$11. t_y = \frac{5 \cdot 200^2}{278^2} = 2,58.$$

12.

$$S_2 = \frac{1}{(1 + 5 \cdot 2,58 + 12,8 \cdot 2,58^2 + 17 \cdot 2,58^3 + 45,1 \cdot 2,58^4)^2} = 1,7 \cdot 10^{-7}.$$

$$13. C_y = 1,7 \cdot 10^{-7} \cdot 0,21 = 0,35 \cdot 10^{-7} \text{ мг/м}^3.$$

$$14. \text{Принимаем } C_\phi = 0,5 \text{ ПДК}_{\text{м.р}} = 0,5 \cdot 0,2 = 0,1 \text{ мг/м}^3.$$

$$\text{ПДВ} = \frac{(0,2 - 0,1) 60^2}{200 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1,7 \cdot 1} \sqrt[3]{1,58 \cdot 76} = 4,01 \text{ г/с}.$$

$$15. H_{\min} = \sqrt{\frac{200 \cdot 8,4 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1,7 \cdot 1}{(0,2 - 0,1_\phi) \sqrt[3]{1,58 \cdot 76}}} = 86 \text{ м}.$$

### Выводы:

1. Требование  $C_m / \text{ПДК}_{\text{м.р}} \leq 1$  не выполняется.

$$C_m / \text{ПДК}_{\text{м.р}} = 0,21 / 0,2 = 1,05.$$

2. Предельно допустимый выброс получился меньше фактической мощности выброса, так как требование  $(C_m + C_\phi) / \text{ПДК}_{\text{м.р}} \leq 1$  не выполняется. Максимальная приземная концентрация с учетом фоновой концентрации превысила значение ПДК:

$$(C_m + C_\phi) / \text{ПДК}_{\text{м.р}} = (0,21 + 0,1) / 0,2 = 1,55.$$

3. Для соблюдения требований нормативов предприятию необходимо снизить мощность выброса до значения ПДВ.

4. Для вновь строящихся предприятий с аналогичными условиями выбросов требуемая высота трубы составит  $H = 86$  м.

## Рекомендуемая литература

1. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. – Л. : Гидрометеиздат, 1986.
2. Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 4 мая 1999 года № 96-ФЗ.
3. ГОСТ 25543–88. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам.
4. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий. – М., 1991.
5. СП 131.13330. Строительная климатология.
6. ГОСТ 12.1.007–76. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями № 1, 2).
7. ГОСТ 12.0.003–2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
8. ГН 2.1.6.3492–17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений.
9. СанПиН 2.1.6.1032–01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест.
10. ГОСТ 12.1.005–88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
11. ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
12. ГОСТ 17.2.3.02–2014. Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями.
13. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 273 от 06.06.2017 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе».
14. Бурков Н. А. Прикладная экология с практикумом : учеб. пособие. – Киров : Вятка, 2008. – 488 с.

## Характеристика топлив (при нормальных условиях)

Месторождение, топливо	Марка, класс	$w^r$ , %	$A^r$ , %	$S^r$ , %	$Q^r$ , МДж/кг	$V^0$ , м <sup>3</sup> /кг
Угли						
<b>Донецкий бассейн</b>	ДР	13,0	28,0	3,5	18,50	
	АШ, АСШ	8,5	30,0	1,9	16,39	
Ново-Дмитровское месторождение	Б1	50,0	18,0	3,3	10,05	
<b>Подмосковный бассейн</b>	Б2Р, Б20МСШ, Б2МСШ	32,0	39,0	4,2	9,88	
<b>Печорский бассейн</b>						
Интауголь	ДР, Д (отсев)	11,5	31,0	3,2	17,54	
Воркутауголь	ЖР (отсев)	5,5	30,0	0,9	22,02	
<b>Кизеловский бассейн</b>	ГР, ГМСШ	6,0	31,0	6,1	19,65	5,61
<b>Челябинский бассейн</b>	БЗ	17,0	29,9	1,0	14,19	4,07
<b>Южноуральский бассейн</b>	Б1Р	56,0	6,6	0,7	9,11	2,93
<b>Карагандинский бассейн</b>	КР, К2Р	8,0	27,6	0,8	21,12	5,83
<b>Экибастузский бассейн</b>	ССР	7,0	32,6	0,7	18,94	5,26
<b>Кузнецкий бассейн</b>	ДР, ДСШ	12,0	13,2	0,4	22,93	6,42
	ГР, ГМ, ГСШ	8,0	14,3	0,5	25,32	7,00
	Г промпродукт	12,0	23,8	0,5	20,07	5,73
	ССР	6,0	14,1	0,6	27,51	7,66
<b>Канско-Ачинский бассейн</b>						
Ирша-Бородинский разрез	Б2Р	33,0	6,7	0,2	15,54	4,53
Назаровский разрез Березовское месторожде- ние	Б2Р Б2	39,0 33,0	7,3 4,7	0,4 0,2	13,06 15,70	3,92 4,62
Другие виды топлив						
Торф		50,0	12,5	0,3	8,12	–
Дрова		40,0	0,6	–	10,24	3,75
Мазут сернистый		3,0	0,1	1,9	39,85	11,28

## Варианты задач. Исходные данные

№ вар.	Бассейн, топливо, марка	Расход ( $B$ ) топлива, т/год (тыс. м <sup>3</sup> /год)	Мощность $Q$ , кВт; $D$ , т/ч		Тип топки	$\eta$ , %	$\eta''$ , доли	$\frac{Q_{\phi}}{Q_n}$	$\frac{D_{\phi}}{D_n}$	$M_{\max}$ , т/мес.
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10
1	Донецкий, АС	400	250	–	С цепной решеткой	85	0,06	1,0	–	70
2	Подмосковный, Б2Р	350	200	–	С пневмомеханич. забрас. и неподв. решеткой	90	0,08	1,0	–	50
3	Донецкий, ДР	600	250	–	С пневмомеханич. забрас. и цепной решеткой прям. хода	80	0,05	1,0	–	80
4	Воркута-уголь, ЖР	900	350	–	Камерная слоевая	60	0,03	1,0	–	120
5	Кизеловский, ГР	140	40	–	Слоевая	87	0,05	1,0	–	30
6	Челябинский, БЗ	280	200	–	Слоевая	90	0,06	1,0	–	45
7	Ингауголь, ДР	730	300	–	Слоевая	90	0,07	1,0	–	100
8	Кузнецкий, ДР, ДСШ	1000	400	–	С пневмомеханич. забрасыв. и неподв. решеткой	95	0,1	1,0	–	210
9	Кузнецкий, ДР, ДСШ	800	250	–		93	0,06	1,0	–	160



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	Донецкий, АРШ	200	70	–	С неподвижной решеткой и ручным забором топлива	80	0,05	1,0	–	40
11	Экибастузский, ССР	450	–	4	Слоевая	65	0	–	1,0	70
12	Подмосковный, Б2Р	195	200	–	С пневмомеханич. забрасыв. и неподв. решеткой	0	0	0,9	–	31
13	Кизеловский, ГР	800	250	–	Слоевая	0	0	0,8	–	40
14	Южноуральский, Б1Р	1000	–	5,0	Слоевая	65	0	–	1,0	100
15	Интауголь, ДР	400	150	–	Слоевая	0	0	0,9	–	28
16	Кузнецкий, ДР, ДСШ	1000	–	3,0	С пневмомеханическими забрасыват. и цепной решеткой обратного хода	85	0	–	0,9	150
17	Кузнецкий, ДР, ДСШ	350	–	2,0		70	0	–	0,8	70
18	Экибастузский, ССР	400	–	3,0	Слоевая	60	0	–	0,8	75
19	Экибастузский, ССР	450	–	4,0	Слоевая	60	0	–	0,8	80
20	Мазут	700	–	4,0	Камерная	0	0	–	0,8	100

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
21	Мазут	800	–	5,0	Камерная	0	0	–	0,9	120
22	Мазут	900	–	6,0	Камерная	0	0	–	0,9	150
23	Мазут	1000	–	6,0	Камерная	0	0	–	0,9	170
24	Дрова	2000	–	2,0	Шахтн. с накл. решет.	0,0	–	–	0,8	200
25	Дрова	2200	–	3,0	Шахтн. с накл. решет.	0,0	–	–	0,8	250
26	Дрова	2500	–	4,0	Шахтн. с накл. решет.	0,0	–	–	0,9	300
27	Дрова	1800	–	4	Шахтн. с накл. решет.	0,0	–	–	0,8	180
28	Торф куско- вой	2200	–	2	Шахтн. с накл. решет	60	0,0	–	1,0	200
29	Торф куско- вой	2400	–	3	Шахтно- цепная	65	0,0	–	1,0	250
30	Торф куско- вой	2600	–	4	Шахтно- цепная	70	0,0	–	1,0	300

## Варианты задач

№ вар.	$C_p$ , мг/нм <sup>3</sup>	$V_{н^2}$ , тыс. нм <sup>3</sup> /ч
1	0,4; 0,35; 2,78; 3,5; 1,8; 4,4	18
2	0,2; 4,7; 3,1; 1,7; 2,8; 3,7	19
3	4,3; 3,1; 2,5; 6,4; 5,2; 8,1	20
4	0,8; 1,2; 3,7; 14,3; 4,1; 6,0	21
5	2,5; 0,7; 4,3; 7,2; 8,5; 9,3	22
6	0,6; 0,9; 7,3; 10,1; 12,7; 1,0	23
7	2,7; 0,1; 7,2; 4,5; 5,3; 0,7	30
8	0,3; 0,2; 0,35; 4,3; 2,7; 4,3	31
9	2,8; 3,1; 7,2; 7,3; 5,6; 6,8	35
10	0,1; 5,7; 8,5; 4,3; 17,1; 2,0	36
11	3,7; 0,9; 1,2; 1,9; 7,1; 4,2	32
12	1,8; 3,7; 5,4; 6,3; 0,1; 13,6	40
13	2,9; 2,1; 1,7; 6,3; 7,2; 4,5	41
14	1,7; 3,0; 2,5; 4,7; 6,2; 10,3	42
15	0,1; 11,3; 9,7; 4,3; 22,2	43
16	1,2; 4,5; 6,5; 7,3; 37,9; 10,1	44
17	1,3; 3,7; 5,5; 12,1; 4,3; 7,3	45
18	2,4; 3,8; 2,7; 4,4; 5,5; 8,8	46
19	1,5; 4,9; 2,1; 7,5; 3,4; 1,01	47
20	1,6; 4,8; 5,3; 7,9; 10,2; 3,1	48
21	0,7; 5,3; 6,7; 3,4; 11,2; 5,1	49
22	1,4; 1,8; 5,2; 9,3; 7,1; 15,0	50
23	0,5; 2,9; 14,3; 6,4; 9,1; 4,0	53
24	0,6; 2,0; 13,1; 7,9; 3,5; 4,0	54
25	0,7; 2,1; 4,2; 6,3; 9,2; 1,0	55
26	3,2; 4,5; 0,6; 8,4; 13,1; 2,0	56
27	0,1; 1,1; 2,3; 4,7; 9,4; 11,7	57
28	0,2; 3,5; 15,0; 0,4; 8,3; 7,7	58
29	3,4; 5,2; 0,7; 4,5; 12,1; 6,6	59
30	0,1; 12,3; 15,4; 6,0; 3,4; 5,2	60

## Значения удельных выбросов загрязняющих веществ для различных типов автомобилей

Таблица П4.1

## Удельные выбросы загрязняющих веществ при прогреве двигателей современных легковых автомобилей с улучшенными экологическими характеристиками

Рабочий объем двигателя, л	Тип двигателя	Удельные выбросы загрязняющих веществ ( $m_{\text{прк}}$ ), г/мин																	
		CO			CH			NO <sub>x</sub>			C			SO <sub>2</sub>			Pb		
		Т	Х	СП	Т	Х	СП	Т	Х	СП	Т	Х	СП	Т	Х	СП	Т	Х	СП
До 1,2	Б	2,3	4,5	2,9	0,18	0,27	0,22	0,01	0,02	0,01	0,008	0,009	0,008	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003
		1,2	2,4	1,6	0,08	0,12	0,10	0,01	0,02	0,01	0,007	0,008	0,007	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003
Свыше 1,2 до 1,8	Д	0,14	0,21	0,17	0,06	0,07	0,06	0,09	0,07	0,002	0,004	0,003	0,032	0,038	0,034	—	—	—	—
		3,0	6,0	3,9	0,31	0,47	0,38	0,02	0,03	0,02	—	—	0,010	0,012	0,011	0,002	0,003	0,003	0,003
Свыше 1,8 до 3,5	Б	1,7	3,4	2,2	0,14	0,21	0,17	0,02	0,03	0,02	0,009	0,010	0,009	0,010	0,009	0,002	0,003	0,003	0,003
		0,19	0,29	0,23	0,08	0,10	0,09	0,08	0,12	0,09	0,003	0,006	0,004	0,040	0,048	0,043	—	—	—
Свыше 3,5 до 1,8	Б	4,5	8,8	5,7	0,44	0,66	0,53	0,03	0,04	0,03	—	—	0,012	0,014	0,013	0,003	0,004	0,004	0,004
		2,9	5,7	3,7	0,18	0,27	0,22	0,03	0,04	0,03	0,011	0,013	0,012	0,048	0,058	0,052	—	—	—
Свыше 3,5 до 1,8	Д	0,35	0,53	0,42	0,14	0,17	0,15	0,13	0,20	0,16	0,005	0,010	0,007	0,048	0,058	0,052	—	—	—
		9,0	18,0	11,7	0,88	1,30	1,04	0,05	0,06	0,05	—	—	0,016	0,019	0,017	0,004	0,005	0,005	0,005
Свыше 3,5	Б	4,8	9,6	6,3	0,39	0,58	0,46	0,05	0,06	0,05	0,014	0,017	0,015	0,065	0,078	0,070	—	—	—
		0,60	0,75	0,49	0,24	0,29	0,26	0,23	0,35	0,28	0,009	0,018	0,012	0,065	0,078	0,070	—	—	—

*Примечания.* 1. В числителе приведены данные для автомобилей, оснащенных двигателями с карбюраторами, в знаменателе – с впрыском топлива.

2. В переходный период значения выбросов CO, CH, C, SO<sub>2</sub> и Pb должны умножаться на коэффициент 0,9 от значений холодного периода года. Выбросы NO<sub>x</sub> принимаются равными выбросам в холодный период.

3. Для автомобилей, оборудованных сертифицированными каталитическими нейтрализаторами и работающих на неэтилированном бензине, значения выбросов в таблице должны умножаться на коэффициенты:

- для CO – на 0,7, CH и NO<sub>x</sub> – на 0,8 при установке 3-компонентных нейтрализаторов;

- для CO – на 0,7, CH – на 0,8 при установке 2-компонентных нейтрализаторов с дополнительной подачей воздуха (окислительного типа).

Тип каталитического нейтрализатора определяется по техническому паспорту на нейтрализатор или инструкции по эксплуатации автомобиля.

Таблица П4.2

**Пробеговые выбросы современных легковых автомобилей с улучшенными экологическими характеристиками**

Рабочий объем, л	Удельные выбросы загрязняющих веществ ( $m_{лик}$ ), г/км												
	Тип	CO		CH		NO <sub>x</sub>		C		SO <sub>2</sub>		Pb	
		Т	Х	Т	Х	Т	Х	Т	Х	Т	Х	Т	Х
До 1,2	Б	<u>7,5</u> 5,3	<u>9,3</u> 6,6	<u>1,0</u> 0,8	<u>1,5</u> 1,2	<u>0,14</u> 0,14	<u>0,14</u> 0,14	–	–	<u>0,036</u> 0,032	<u>0,045</u> 0,041	<u>0,008</u> 0,007	<u>0,010</u> 0,009
	Д	0,8	0,9	0,1	0,2	0,80	0,80	0,04	0,06	0,143	0,178	–	–
Свыше 1,2 до 1,8	Б	<u>9,4</u> 6,6	<u>11,8</u> 8,3	<u>1,2</u> 1,0	<u>1,8</u> 1,5	<u>0,17</u> 0,17	<u>0,17</u> 0,17	–	–	<u>0,054</u> 0,049	<u>0,068</u> 0,061	<u>0,012</u> 0,010	<u>0,015</u> 0,013
	Д	1,0	1,2	0,2	0,3	1,10	1,10	0,06	0,09	0,214	0,268	–	–
Свыше 1,8 до 3,5	Б	<u>13,2</u> 9,3	<u>16,5</u> 11,7	<u>1,7</u> 1,4	<u>2,5</u> 2,1	<u>0,24</u> 0,24	<u>0,24</u> 0,24	–	–	<u>0,063</u> 0,057	<u>0,079</u> 0,071	<u>0,015</u> 0,013	<u>0,019</u> 0,017
	Д	1,8	2,2	0,4	0,5	1,90	1,90	0,10	0,15	0,250	0,313	–	–
Свыше 3,5	Б	<u>18,8</u> 13,3	<u>23,5</u> 16,6	<u>2,4</u> 2,0	<u>3,6</u> 3,0	<u>0,34</u> 0,34	<u>0,34</u> 0,34	–	–	<u>0,097</u> 0,087	<u>0,121</u> 0,109	<u>0,023</u> 0,020	<u>0,029</u> 0,025
	Д	3,1	3,7	0,7	0,8	2,40	2,40	0,15	0,23	0,350	0,481	–	–

*Примечания.* 1. В числителе приведены данные для автомобилей, оснащенных двигателями с карбюраторами, в знаменателе – с системой впрыска топлива.

2. В переходный период значения выбросов CO, CH, C, SO<sub>2</sub> и Pb должны умножаться на коэффициент 0,9 от значений холодного периода. Выбросы NO<sub>x</sub> равны выбросам в холодный период.

3. Для автомобилей, оборудованных сертифицированными каталитическими нейтрализаторами и работающих на неэтилированном бензине, значения выбросов должны умножаться на коэффициенты:

- для CO – на 0,2, CH и NO<sub>x</sub> – на 0,3 при установке 3-компонентных нейтрализаторов;

- для CO – на 0,2, CH – на 0,3 при установке 2-компонентных нейтрализаторов с дополнительной подачей воздуха (окислительного типа).

Тип каталитического нейтрализатора определяется по техническому паспорту на нейтрализатор или инструкции по эксплуатации автомобиля.

Таблица П4.3

**Удельные выбросы загрязняющих веществ на холостом ходу современными легковыми автомобилями с улучшенными экологическими характеристиками**

Рабочий объем, л	Тип двигателя	Удельные выбросы загрязняющих веществ ( $m_{x_{ик}}$ ), г/мин					
		CO	CH	NO <sub>x</sub>	C	SO <sub>2</sub>	Pb
До 1,2	Б	<u>1,5</u> 0,8	<u>0,15</u> 0,07	<u>0,01</u> 0,01	–	<u>0,007</u> 0,006	<u>0,002</u> 0,002
	Д	0,1	0,04	0,05	0,002	0,032	–
Свыше 1,2 до 1,8	Б	<u>2,0</u> 1,1	<u>0,25</u> 0,11	<u>0,02</u> 0,02	–	<u>0,009</u> 0,008	<u>0,002</u> 0,002
	Д	0,1	0,06	0,07	0,003	0,040	–
Свыше 1,8 до 3,5	Б	<u>3,5</u> 1,9	<u>0,35</u> 0,15	<u>0,03</u> 0,03	–	<u>0,011</u> 0,010	<u>0,003</u> 0,003
	Д	0,2	0,10	0,12	0,005	0,048	–
Свыше 3,5	Б	<u>6,0</u> 3,2	<u>0,70</u> 0,31	<u>0,05</u> 0,05	–	<u>0,015</u> 0,013	<u>0,004</u> 0,004
	Д	0,4	0,17	0,21	0,008	0,065	–

*Примечания.* 1. В числителе приведены данные для автомобилей, оснащенных двигателями с карбюраторами, в знаменателе – с впрыском топлива.

2. Для автомобилей, оборудованных сертифицированными каталитическими нейтрализаторами и работающими на неэтилированном бензине, значения выбросов должны умножаться на коэффициенты:

- для CO – на 0,2, CH и NO<sub>x</sub> – на 0,3 при установке 3-компонентных нейтрализаторов;
- для CO – на 0,2, CH на 0,3 при установке 2-компонентных нейтрализаторов с дополнительной подачей воздуха (окислительного типа).

Тип каталитического нейтрализатора определяется по техническому паспорту нейтрализатора или инструкции по эксплуатации на автомобиль.

Варианты задач

№ вар.	Расч. схема	Тип двигателя	Усл. хранения.	Рабоч. $V_{\text{дв}}^{\text{л}}$	Регулир. и контр.	$I_{1\text{дв}}$ , $I_{2\text{дв}}$ км	$I_{1\text{дв}}$ , $I_{2\text{дв}}$ км	$N_k$	$\alpha_b$	$\frac{N_k^i}{N_{\text{кр}}^i}$	$L_p$	$N_{\text{кр}}$	$L_n$	Город
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	Бенз. карб.	БП	1,4	Да	0,1	1,5	40	0,7	10	-	-	-	Барнаул
2	1	Бенз. впр.	БП	2,4	Да	0,3	1,8	50	0,8	10	-	-	-	Архангельск
3	1	Бенз. впр.	СП	2,6	Нет	0,2	1,2	60	0,9	15	-	-	-	Астрахань
4	1	Бенз. карб.	СП	1,6	Нет	0,3	1,2	30	0,7	15	-	-	-	Белгород
5	1	Дизельн.	БП	2,2	Да	0,2	1,5	20	0,8	12	-	-	-	Брянск
6	1	Дизельн.	БП	2,4	Да	0,3	1,5	10	0,9	12	-	-	-	Владимир
7	1	Бенз. впр.	СП	1,6	Нет	0,3	1,2	20	0,7	8	-	-	-	Волгоград
8	1	Дизельн.	СП	2,4	Да	0,2	1,2	30	0,8	8	-	-	-	Вологда
9	1	Бенз. карб.	БП	2,2	Нет	0,1	1,5	40	0,9	6	-	-	-	Воронеж
10	1	Бенз. впр.	БП	3,6	Нет	0,3	1,8	50	0,7	6	-	-	-	Иваново
11	2	Дизельн.	СП	2,4	Да	0,01	0,5	10	0,8	10	2	55	-	Калининград
12	2	Бенз. впр.	СП	1,6	Нет	0,01	0,6	20	0,9	10	1,5	55	-	Калуга
13	2	Дизельн.	БП	2,0	Да	0,01	0,7	30	0,7	12	0,8	15	-	Кемерово



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
14	2	Дизельн.	БП	3,6	Нет	0,02	0,8	40	0,8	12	1,8	65	-	Вятка
15	2	Бенз. карб.	СП	1,2	Да	0,02	0,4	10	0,9	15	1,8	50	-	Кострома
16	2	Бенз. впр.	СП	1,6	Нет	0,02	0,5	20	0,7	15	0,9	20	-	Курск
17	2	Бенз. карб.	БП	2,4	Нет	0,01	0,6	30	0,8	18	0,9	10	-	Липецк
18	2	Дизельн.	БП	1,2	Да	0,02	0,7	40	0,9	18	1,2	20	-	Тихвин
19	2	Бенз. впр.	СП	1,4	Да	0,01	0,8	10	0,7	10	1,2	30	-	Санкт-Петербург
20	2	Дизельн.	СП	1,6	Нет	0,02	0,5	20	0,8	10	1,5	40	-	Москва
21	3	Дизельн.	БП	2,4	Да	0,1	0,8	10	0,9	15	-	-	0,8	Мурманск
22	3	Бензин. карб.	СП	1,2	Нет	0,2	0,9	10	0,7	15	-	-	1,0	Нижний Новгород
23	3	Бенз. впр.	СП	2,4	Да	0,05	1,0	20	0,8	12	-	-	1,2	Новгород
24	3	Дизельн.	БП	3,6	Нет	0,05	0,5	25	0,9	16	-	-	1,4	Пермь
25	3	Дизельн.	БП	2,4	Нет	0,05	0,6	15	0,7	10	-	-	1,6	Саратов
26	3	Бенз. впр.	СП	1,6	Да	0,1	0,7	10	0,8	15	-	-	1,2	Смоленск
27	3	Дизельн.	СП	2,4	Да	0,2	0,8	20	0,9	18	-	-	1,4	Тамбов
28	3	Бен. карб.	БП	1,6	Нет	0,1	0,9	30	0,7	20	-	-	1,0	Казань
29	3	Дизельн.	БП	2,2	Нет	0,2	1,0	25	0,8	10	-	-	0,8	Ижевск
30	3	Бенз. впр.	БП	2,4	Да	0,05	0,8	20	0,9	12	-	-	1,2	Ульяновск

Средняя месячная и годовая температура воздуха  
в российских городах, °С

Республика, край, область, пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год.
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Барнаул	-17,5	-16,1	-9,1	2,1	11,4	17,7	19,8	16,9	10,8	2,5	-7,9	-15,0	1,3
Архангельск	-12,9	-12,5	-8,0	-0,9	6,0	12,4	15,6	13,6	7,9	1,5	-4,1	-9,5	0,8
Астрахань	-6,7	-5,6	0,4	9,9	18,0	22,8	25,3	23,6	17,3	9,6	2,4	-3,2	9,5
Белгород	-8,5	-6,4	-2,5	7,5	14,6	17,9	19,9	18,7	12,9	6,4	0,3	-4,5	6,4
Брянск	-9,1	-8,4	-3,2	5,9	12,8	16,7	18,1	16,9	11,5	5,0	-0,4	-5,2	5,1
Владимир	-11,1	-10,0	-4,3	4,9	12,2	16,6	17,9	16,4	10,7	3,7	-2,7	-7,5	3,9
Волгоград	-9,1	-7,6	-1,4	10,0	17,0	21,0	23,4	22,0	16,2	7,5	1,4	-4,2	8,0
Вологда	-12,6	-11,6	-5,9	2,3	9,6	14,9	16,8	15,0	9,1	2,5	-3,5	-8,9	2,3
Воронеж	-9,8	-9,6	-3,7	6,6	14,6	17,9	19,9	18,6	13,0	5,9	-0,6	-6,2	5,6
Иваново	-11,9	-10,9	-5,1	4,1	11,4	15,8	17,6	15,8	10,1	3,5	-3,1	-8,1	3,3
Калининград	-3,1	-2,5	0,6	6,2	11,6	15,2	17,3	16,7	13,0	7,8	2,9	-0,9	7,1
Калуга	-10,1	-8,9	-3,9	4,8	12,3	16,2	18,0	16,5	11,0	4,7	-1,5	-6,5	4,4
Кемерово	-18,8	-16,9	-9,8	1,0	9,7	16,3	18,8	15,4	9,5	1,3	-9,6	-16,9	0,0
Вятка	-14,4	-12,9	-6,7	2,2	10,0	15,4	17,9	15,3	9,0	1,5	-5,7	-11,8	1,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Когрома	-11,8	-11,1	-5,3	3,2	10,9	15,5	17,8	16,1	10,0	3,2	-2,9	-8,7	3,1
Курск	-9,3	-7,8	-3,0	6,6	13,9	17,2	18,7	17,6	12,2	5,6	-0,4	-5,2	5,5
Липецк	-10,3	-9,5	-4,4	5,5	13,8	18,0	20,2	18,5	12,5	5,5	-1,5	-7,1	5,1
Тихвин	-10,5	-9,3	-4,7	2,8	9,7	14,7	16,6	14,8	9,5	3,6	-1,8	-6,6	3,2
Санкт-Петербург	-7,8	-7,8	-3,9	3,1	9,8	15,0	17,8	16,0	10,9	4,9	-0,3	-5,0	4,4
Москва	-10,2	-9,2	-4,3	4,4	11,9	16,0	18,1	16,3	10,7	4,3	-1,9	-7,3	4,1
Мурманск	-10,5	-10,8	-6,9	-1,6	3,4	9,3	12,6	11,3	6,6	0,7	-4,2	-7,8	0,2
Нижний Новгород	-11,8	-11,1	-5,0	4,2	12,0	16,4	18,4	16,9	11,0	3,6	-2,8	-8,9	3,6
Новгород	-8,7	-8,7	-4,3	3,3	10,4	15,2	17,3	15,4	10,3	4,2	-0,9	-5,9	4,0
Новосибирск	-18,8	-17,3	-10,1	1,5	10,3	16,7	19,0	15,8	10,1	1,9	-9,2	-16,5	0,2
Орел	-9,7	-8,8	-4,0	5,6	13,0	16,9	18,5	17,1	11,7	5,1	-0,9	-5,6	4,9
Пермь	-15,3	-13,4	-6,9	2,6	10,2	15,7	18,0	15,4	9,3	1,4	-6,3	-12,7	1,5
Саратов	-11,0	-11,4	-4,8	6,6	15,0	19,4	21,4	19,9	14,0	5,4	-2,0	-8,3	5,3
Смоленск	-9,4	-8,4	-4,0	4,4	11,6	15,7	17,1	15,9	10,4	4,5	-1,0	-5,8	4,3
Тамбов	-10,9	-10,3	-4,6	6,0	14,1	18,1	19,8	18,6	12,5	5,2	-1,4	-7,3	5,0
Казань	-13,5	-13,1	-6,5	3,7	12,4	17,0	19,1	17,5	11,2	3,4	-3,8	-10,4	3,1
Ижевск	-14,6	-13,3	-6,7	3,3	11,3	16,4	18,5	16,4	10,1	2,1	-5,1	-11,6	2,3
Ульяновск	-13,8	-13,2	-6,8	4,1	12,6	17,6	19,6	17,6	11,4	3,8	-4,1	-10,4	3,2
Челябинск	-15,8	-14,3	-7,4	3,9	11,9	16,8	18,4	16,2	10,7	2,4	-6,2	-12,9	2,0
Чебоксары	-13,0	-12,4	-6,0	3,6	12,0	16,5	18,6	16,9	10,8	3,3	-3,7	-10,0	3,0
Ярославль	-11,9	-10,7	-5,1	3,7	10,9	15,7	17,6	16,0	10,0	3,4	-2,7	-8,1	3,2

## Варианты задач

№ вар.	Среднегодовая концентрация ЗВ, мг/м <sup>3</sup>							
	Город А				Город В			
	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	ТВЧ		NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	ТВЧ	
1	0,2	0,05	0,2	CuO 0,02; MnO <sub>2</sub> 0,002; пропилен 1,0	0,03	0,08	0,5	FeO 0,1; пыль древесная 0,5; толуол 0,005
2	0,3	0,03	0,3	Фенол 0,003; бензин 5,5; оксид меди 0,006	0,1	0,07	0,8	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,11; фурфурол 0,1; фенол 0,03
3	0,03	0,07	0,2	Пропилен 3,0; озон 0,0005; уайт-спирит 1,6	0,02	0,1	0,32	HNO <sub>3</sub> 0,35; Hg 0,006; пыль бум. 0,4
4	0,2	0,06	0,8	Фурфурол 1,3; скипидар 1,3; сажа 0,15	0,11	0,03	0,1	Hg 0,0007; ацетон 0,8; зола сланц. 0,08
5	0,07	0,15	0,4	Ксилол 0,35; оксид железа 0,06; бутилацетат 0,27	0,1	0,1	0,1	Кислота уксусная 0,1; стирол 0,003; пропилен 3,0
6	0,04	0,09	0,15	Толуол 1,8; свинец $4 \cdot 10^{-6}$ ; H <sub>2</sub> S 0,01	0,02	0,06	0,1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,17; фурфурол 0,08; толуол 1,3
7	0,3	0,25	0,5	Стирол 0,005; взвеш. в-ва 0,05; оксид меди 0,003	0,03	0,1	0,12	Фенол 0,009; H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,08; бензин 0,1
8	0,15	0,01	0,1	Озон $3,7 \cdot 10^{-5}$ ; пропилен 1,0; кислота уксусная 0,5	0,04	0,17	0,4	Фенол 0,1; сажа 0,07; пыль зерновая 0,07
9	0,28	0,02	0,19	Бутилацетат 0,22; MnO <sub>2</sub> 0,003; фурфурол 0,03	0,15	0,08	0,05	Фенол 0,003; толуол 0,05; формальдегид 0,05

№ вар.	Среднегодовая концентрация ЗВ, мг/м <sup>3</sup>							
	Город А				Город В			
	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	ТВЧ		NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	ТВЧ	
10	0,09	0,21	0,1	Стирол 0,005; сажа 0,04; HNO <sub>3</sub> 0,2	0,11	0,06	0,1	Тетраэтилсв 3 · 10 <sup>-6</sup> ; свинец 0,0007; пыль бум. 0,3
11	0,04	0,08	0,22	Hg 0,0005; кислота уксусн. 0,09; аммиак 0,25	0,07	0,1	0,3	Аммиак 0,12; ацетон 0,3; пыль зерна 1,2
12	0,09	0,03	0,17	Аммиак 0,7; пропилен 0,9; метилмеркаптан 7 · 10 <sup>-6</sup>	0,02	0,3	0,12	Зола сланц. 0,23; фенол 0,01; HNO <sub>3</sub> 0,12
13	0,07	0,12	0,12	Стирол 0,007; Hg 0,0004; зола сланц. 0,15	0,03	0,24	0,27	Окись меди 0,005; пропилен 6,5; бутил ацетат 0,12
14	0,1	0,12	0,08	Фурфурол 0,05; СО 5,2; Cr <sup>6+</sup> 0,002	0,06	0,13	0,1	Фенол 0,006; сажа 0,03; ксилол 0,65
15	0,3	0,1	0,12	Окись меди 0,004; NH <sub>3</sub> 0,12; тетраэтилсвинец 5,2 · 10 <sup>-6</sup>	0,07	0,2	0,2	SiO 0,06; пыль древесн. 0,15; СО 5,2
16	0,09	0,03	0,41	H <sub>2</sub> S 0,018; Cr <sup>6+</sup> 0,002; пропилен 2,0	0,04	0,03	0,1	Толуол 0,25; кислота уксусная 0,2; бутилацетат 0,35
17	0,13	0,3	0,17	Стирол 0,003; толуол 0,25; фенол 0,008	0,05	0,15	0,11	Сажа 0,12; оксид меди 0,003; зола мазутная 0,0001
18	0,03	0,07	0,13	Серная кислота 0,13; пропилен 5,2; фурфурол 0,05	0,08	0,08	0,17	Сероводород 0,006; кислота уксусная 0,1; сажа 0,08

№ вар.	Среднегодовая концентрация ЗВ, мг/м <sup>3</sup>							
	Город А				Город В			
	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	ТВЧ		NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	ТВЧ	
19	0,09	0,09	0,09	Кислота азотная 0,32; оксид марганца 0,0012; аммиак 0,03	0,1	0,03	0,08	Cr <sup>6+</sup> 0,002; кислота серная 0,17; пыль древесная 0,2
20	0,07	0,03	0,18	Ртуть 0,0007; ацетон 0,48; ксилол 0,36	0,11	0,11	0,05	Свинец 0,0007; фенол 0,005; бутилацетат 0,17
21	0,17	0,06	0,25	Фенол 0,002; скипидар 0,8; оксид меди 0,003	0,06	0,11	0,18	Зола мазутная 0,0045; бутилацетат 0,08; Mn 0,017
22	0,09	0,13	0,35	Стирол 0,003; толуол 0,25; формальдегид 0,08	0,14	0,08	0,1	Cr <sup>6+</sup> 0,002; кислота азотная 0,18; сажа 0,15
23	0,17	0,03	0,12	Стирол 0,004; аммиак 0,03; ксилол 0,7	0,07	0,1	0,18	Свинец 0,001; скипидар 0,7; кислота серная 0,17
24	0,15	0,12	0,2	Марганец 0,0017; скипидар 1,3; сажа 0,04	0,1	0,15	0,3	Фенол 0,1; ксилол 0,35; бензин малосерн. 1,2
25	0,07	0,03	1,2	Ртуть 0,0005; толуол 1,3; фурфурол 0,06	0,11	0,02	0,05	Пыль мех. 0,05; ацетон 0,8; кислота уксусная 0,2
26	0,1	0,08	0,3	Аммиак 1,2; Cr <sup>6+</sup> 0,006; сажа 0,03; фенол 0,03	0,06	0,1;	0,15	Пыль абразивная 0,1; озон 0,003; СО 5,2

№ вар.	Среднегодовая концентрация ЗВ, мг/м <sup>3</sup>							
	Город А				Город В			
	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	ТВЧ		NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	ТВЧ	
27	0,4	0,09	0,2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,5; фурфурол 0,08; толуол 1,3	0,5	0,02	0,19	Стирол 0,003; толуол 0,25; фенол 0,008
28	0,3	0,04	0,05	Скипидар 0,2; сажа 0,12; аммиак 0,9	0,3	0,07	0,5	Кислота уксусная 0,2; стирол 0,005; пропилен 1,0
29	0,4	0,08	0,45	Окись меди 0,008; пропилен 1,5; бутилацетат 0,2	0,1	0,01	0,9	Пропилен 0,7; пятиокись ванад. 0,007; кислота уксусная 0,1
30	0,3	0,05	0,5	Фенол 0,003; скипидар 0,5; окись меди 0,005	0,2	0,02	0,2	CuO 0,04; MnO <sub>2</sub> 0,005; FeO 0,01

Варианты задач

№ вар.	Среднегодовая концентрация С, мг/м <sup>3</sup>											
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	ТВЧ	Hg	Фенол	H <sub>2</sub> S	Фурф.	Cr <sup>6+</sup>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>	MnO <sub>2</sub>	Ацетон
	K <sub>i</sub> = 1	K <sub>i</sub> = 1,3	K <sub>i</sub> = 1,0	K <sub>i</sub> = 1,7	K <sub>i</sub> = 1,3	K <sub>i</sub> = 1,3	K <sub>i</sub> = 1	K <sub>i</sub> = 1,7	K <sub>i</sub> = 1,3	K <sub>i</sub> = 1,3	K <sub>i</sub> = 1,3	K <sub>i</sub> = 0,9
1	0,06	0,09	0,11	0,0007				0,0035		0,2		
2	0,09	0,08	0,09				0,14		0,08		0,002	
3	0,1	0,07	0,1	0,0004		0,015				0,25		
4	0,11	0,06	0,08		0,011				0,1			0,35
5	0,12	0,05	0,22				0,14		0,08		0,002	
6	0,13	0,04	0,25			0,015		0,0004		0,25		
7	0,09	0,14	0,21		0,011				0,1			0,35
8	0,1	0,13	0,22			0,021		0,0005		0,12		
9	0,11	0,12	0,13	0,001					0,3		0,004	
10	0,12	0,11	0,11				0,09			0,3		0,2
11	0,13	0,10	0,09		0,01			0,003				0,30



№ вар.	Среднегодовая концентрация С, мг/м <sup>3</sup>											
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	ТВЧ	Hg	Фенол	H <sub>2</sub> S	Фурф.	Сr <sup>6+</sup>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>	MnO <sub>2</sub>	Ацетон
	K <sub>т</sub> = 1	K <sub>т</sub> = 1,3	K <sub>т</sub> = 1,0	K <sub>т</sub> = 1,7	K <sub>т</sub> = 1,3	K <sub>т</sub> = 1,3	K <sub>т</sub> = 1	K <sub>т</sub> = 1,7	K <sub>т</sub> = 1,3	K <sub>т</sub> = 1,3	K <sub>т</sub> = 1,3	K <sub>т</sub> = 0,9
12	0,14	0,09	0,1			0,013		0,004		0,11		
13	0,05	0,08	0,08	0,0002			0,08			0,25		
14	0,06	0,07	0,22		0,023				0,15			0,25
15	0,17	0,06	0,25			0,005			0,06	0,5		
16	0,08	0,05	0,21				0,10	0,001			0,001	
17	0,19	0,04	0,05		0,009					0,1		0,38
18	0,08	0,03	0,20	0,0004		0,013			0,22			
19	0,09	0,07	0,11				0,11	0,002			0,007	
20	0,10	0,08	0,08		0,012					0,13		0,28
21	0,11	0,05	0,18	0,0008			0,05				0,006	
22	0,12	0,06	0,21			0,006		0,004	0,05			

№ вар.	Среднегодовая концентрация С, мг/м <sup>3</sup>											
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	ТВЧ	Hg	Фенол	H <sub>2</sub> S	Фурф.	Сr <sup>6+</sup>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>	MnO <sub>2</sub>	Ацетон
	K <sub>т</sub> = 1	K <sub>т</sub> = 1,3	K <sub>т</sub> = 1,0	K <sub>т</sub> = 1,7	K <sub>т</sub> = 1,3	K <sub>т</sub> = 1,3	K <sub>т</sub> = 1	K <sub>т</sub> = 1,7	K <sub>т</sub> = 1,3	K <sub>т</sub> = 1,3	K <sub>т</sub> = 1,3	
23	0,07	0,08	0,10		0,004					0,1		0,15
24	0,06	0,12	0,17	0,0005		0,009					0,002	
25	0,10	0,03	0,10				0,1			0,1		0,1
26	0,10	0,05	0,22	0,0002			0,08			0,25		
27	0,11	0,04	0,25		0,023				0,15			0,25
28	0,12	0,03	0,21			0,005		0,002		0,5		
29	0,07	0,07	0,05				0,10	0,001			0,001	
30	0,06	0,08	0,20		0,009					0,1		0,38

**Предельно допустимые концентрации (ПДК)  
загрязняющих веществ  
в атмосферном воздухе населенных мест**

№ пп.	Наименование вещества	ПДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>с.с.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ОБУВ, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
1	Азота диоксид	0,085	0,040		2
2	Аммиак	0,2	0,04		4
3	Ангидрид сернистый	0,5	0,05		3
4	Ацетон	0,35			4
5	Бензин (нефтяной, малосернистый в пересчете на углерод)	5,0	1,5		4
6	Бутилацетат	0,1			4
7	Ванадия пятиокись		0,002		1
8	Взвешенные вещества	0,5	0,15		3
9	Дибутилфталат			0,1	
10	Железа оксид		0,04		3
11	Зола сланцевая	0,3	0,1		3
12	Кальция хлорид			0,05	
13	Керосин			1,2	
14	Кислота уксусная	0,2	0,06		3
15	Кислота щавелевая			0,015	
16	Ксилол	0,2			3
17	Мазутная зола электростанций (в пересчете на ванадий)		0,002		2
18	Марганец и его соединения (в пересчете на диоксид марганца)	0,01	0,001		2

№	Наименование вещества	ПДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>с.с.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ОБУВ, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
19	Меди оксид (в пересчете на медь)		0,002		2
20	Метилмеркаптан	0,0001			4
21	Натрия гидроокись (натр едкий, сода каустическая)			0,01	
22	Озон	0,13	0,03		1
23	Оксид углерода	5,0	3,0		4
24	Полиэтилен			0,01	
25	Пропилен	0,5			3
26	Пыль абразивная (корунд белый, монокорунд)			0,04	
27	Пыль бумаги			0,1	
28	Пыль древесная			0,5	
29	Пыль зерновая	0,5	0,15		3
30	Пыль меховая (шерстяная, пуховая)			0,03	
31	Ртуть металлическая	0,5	0,0003		1
32	Сажа	0,15	0,05		3
33	Серы диоксид	0,5	0,05		3
34	Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	0,001	0,0003		1
35	Сероводород	0,008			2
36	Скипидар	2,0	1,0		4
37	Стирол	0,04	0,002		2
38	Тетраэтилсвинец	0,0001	$4 \cdot 10^{-5}$		1
39	Толуол	0,6			1

40	Уайт-спирит			1,0	
41	Углерода сажа	5,0	3,0		4
42	Фенол	0,01	0,003		2
43	Фурфурол	0,08	0,04		3
44	Формальдегид	0,05	0,1		2
45	Хром шестивалентный (в пересчете на трехокись хрома)		0,0015		1
46	Кислота серная (по молекуле $H_2SO_4$ )	0,3	0,1		2
47	Кислота азотная (по молекуле $HNO_3$ )	0,4	0,15		2

## Варианты задач. Исходные данные

№ вар.	№ ист.	$H_m$	$D_m$	$V$ , м <sup>3</sup> /с	$M$ , г/с	Вещество
1	1	12	0,2	10,5	2,02 5,3	Сероводород Аммиак
	2	10	1,0	12,0	2,2 3,1 4,1	Сернистый ангидрид Двуокись азота Аммиак
2	1	20	1,0	15,2	3,4 5,7 7,6	Зола сланцевая Двуокись азота Оксид углерода
	2	8	0,5	10,0	6,0 4,5	Толуол Ксилол
3	1	15	0,2	8,0	2,0 0,5 0,25	Толуол Фенол Бутилацетат
	2	12	0,3	6,0	1,1 0,8	Ксилол Фенол
4	1	10	0,5	9,2	2,0 5,5	Аммиак Сероводород
	2	25	1,0	15,7	6,3 3,7 4,5	Сажа Сероводород Аммиак
5	1	7	0,3	8,0	0,7 3,2 4,5	Фенол Ксилол Бутилацетат
	2	15	0,2	16,5	3,2 6,4	Кислота серная Взвешенные вещества
6	1	15	0,7	6,0	2,5 2,25 1,87	Серы диоксид Сажа Аммиак
	2	10	0,5	10,0	3,75 4,12 0,87	Марганец и его соединения Оксид железа Хром шестивалентный

№ вар.	№ ист.	$H_m$	$D_m$	$V, \text{ м}^3/\text{с}$	$M, \text{ г/с}$	Вещество
7	1	25	0,5	15,0	3,4 5,8 2,9	Серы диоксид Оксид углерода Диоксид азота
	2	20	0,7	12,5	7,8 6,5 1,2	Сажа Пыль древесная Фенол
8	1	12	0,3	6,1	2,8 1,7 3,0	Оксид углерода Диоксид азота Сажа
	2	10	0,2	14,7	1,5 10,3	Фурфурол Уайт-спирит
9	1	8	0,5	6,0	1,0 1,48 2,0	Марганец и его соединения Хром шестивалентный Пыль абразивная
	2	10	0,5	7,5	2,3 3,4	Аммиак Сероводород
10	1	50	1,2	40	7,0 12,0 8,1	Сернистый ангидрид Двуокись азота Оксид углерода
	2	30	1,0	27	12,2 15,6	Зола сланцевая Взвешенные вещества
11	1	15	0,45	4,0	0,55 0,48 0,12	Марганец и его соединения Оксид железа Хром шестивалентный
	2	20	0,5	7,0	0,87 2,5	Формальдегид Пыль бумаги
12	1	27	1,5	11,0	2,48 4,97 2,3	Сернистый ангидрид Диоксид азота Взвешенные вещества
	2	20	1,0	12	3,15 3,48	Оксид углерода Взвешенные вещества

№ вар.	№ ист.	$H_m$	$D_m$	$V, \text{ м}^3/\text{с}$	$M, \text{ г/с}$	Вещество
13	1	8	0,2	13,8	0,2 4,7 2,5	Метилмеркаптан Аммиак Сероводород
	2	10	0,5	8,7	4,1 3,7 5,1	Пропилен Аммиак Ацетон
14	1	25	1,0	20,7	7,4 3,8 2,2	Взвешенные вещества Двуокись азота Оксид углерода
	2	20	0,8	13,9	7,2 5,1 2,9	Взвешенные вещества Кислота азотная Аммиак
15	1	13	0,4	5,1	1,3 0,7 1,1	Уксусная кислота Ксилол Толуол
	2	9	0,3	8,4	4,1 1,5	Натрия гидроокись Кислота уксусная
16	1	12	0,6	9,0	7,5 9,2 5,3	Толуол Ксилол Уайт-спирит
	2	9	0,5	10,0	5,4 6,7	Бутилацетат Уайт-спирит
17	1	10	0,4	6,0	4,8 3,5	Уксусная кислота Сернистый ангидрид
	2	22	0,9	8,0	6,7	Двуокись азота
	3	17	0,3	5,0	4,5 1,2	Древесная пыль Уксусная кислота
18	1	5	0,2	10,4	5,3 7,8 5,1	Бутилацетат Бензин Керосин
	2	8	0,1	5,1	2,2 0,9	Бензин Свинец



№ вар.	№ ист.	$H_m$	$D_m$	$V$ , м <sup>3</sup> /с	$M$ , г/с	Вещество
19	1	8	0,5	7,3	3,7	Уайт-спирит
	2	12	0,8	9,4	1,2 3,5 1,9 4,5	Толуол Ксилол Бутилацетат Азотная кислота
20	1	25	1,2	32,0	8,7 9,1 5,9	Пыль абразивная Серная кислота Марганец и его соединения
	2	20	1,0	20,4	2,0 4,6	Хром шестивалентный Пыль абразивная
21	1	16	0,5	10,5	3,2 5,0 0,9	Оксид углерода Диоксид азота Сажа
	2	10	0,4	5,0	1,5 2,2	Сажа Диоксид азота
22	1	6	0,2	4,0	1,18 7,98	Серная кислота Уксусная кислота
	2	22	0,4	12,0	0,99	Серная кислота
	3	12	0,5	8,2	0,76 1,4	Аммиак Азотная кислота
23	1	10	0,8	7,0	3,4 5,2	Железа оксид Взвешенные вещества
	2	29	0,5	12,0	3,0	Кальция хлорид
	3	8	0,5	9,0	7,2 1,5	Оксид углерода Взвешенные вещества
24	1	50	1,0	20,0	15,5 18,2	Оксид углерода Двуокись азота
	2	20	1,2	11,0	8,7 3,5 1,8	Двуокись азота Сажа Взвешенные вещества

№ вар.	№ ист.	$H_m$	$D_m$	$V$ , м <sup>3</sup> /с	$M$ , г/с	Вещество
25	1	10	0,8	7,0	3,5	Древесная пыль
	2	15	0,4	9,0	2,4 7,2	Меди оксид Взвешенные вещества
	3	15	0,5	7,5	1,5 2,1	Пыль бумаги Древесная пыль
26	1	12	0,7	17,4	3,2 4,5	Натрия гидроокись Кальция хлорид
	2	9	0,5	15,3	4,1 1,5 2,7	Железа оксид Марганец Меди оксид
27	1	11	0,4	12,7	2,1 1,2 3,4	Скипидар Сероводород Оксид углерода
	2	4	0,1	5,5	4,1 1,1	Серы диоксид Оксид углерода
28	1	12	0,8	13,3	3,5 2,1	Аммиак Сернистый ангидрид
	2	15	0,8	14,0	7,7 0,5 0,9	Аммиак Меди оксид Ацетон
29	1	25	1,2	27,0	15,1 16,7	Зола сланцевая Взвешенные вещества
	2	18	1,0	20,0	5,4 8,9 10,2	Сероводород Азота диоксид Зола сланцевая
30	1	12	0,8	18,2	7,1 4,2	Сажа Толуол
	2	10	0,5	16,1	3,5 2,3	Фурфурол Толуол
	3	8	0,4	8,4	1,4 1,8	Кислота азотная Кислота серная

## Варианты задач

№ вар.	Загрязняющее вещество	$V_1$ , м <sup>3</sup> /ч	$C^0$ , мг/м <sup>3</sup>	$H$ , м	$D$ , м	$\Delta T$ , °C	Город	ПДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	$U$ , м/с
1	Серы диоксид	40000	1000	80	1,0	60	Саратов	0,5	2
2	Аммиак	22000	1800	60	0,8	75	Волгоград	0,2	5
3	Зола сланцевая	10000	5700	70	1,0	85	Чебоксары	0,3	3
4	Азота диоксид	5500	3040	50	0,7	75	Краснодар	0,2	3
5	Сероводород	4000	1400	60	0,8	70	Псков	0,008	2
6	Сернистый ангидрид	85400	2000	90	1,5	80	Вологда	0,5	2
7	Ацетон	8000	750	50	1,0	70	Владимир	0,35	6
8	Сернистый ангидрид	55000	2500	60	1,0	75	Вологда	0,5	4
9	Зола**	85000	2400	70	1,2	88	Воронеж	0,5	5
10	Азота диоксид	5700	5315	60	1	76	Кемерово	0,2	1
11	Пыль древесная	6700	4050	30	1,2	84	Казань	0,5	2
12	Кислота уксусная	6500	2800	70	1,0	65	Сыктывкар	0,2	4
13	Хлорбензол	7300	2200	60	1	70	Тула	0,1	8
14	Взвешенные вещества	8000	4750	120	1	68	Воркута	0,5	2
15	Серы диоксид	3700	4600	60	0,8	70	Иркутск	0,5	3
16	Зола***	6300	5480	90	1	77	Кострома	0,5	4
17	Фенол	8000	2460	60	0,8	60	Киров	0,01	5
18	Ацетон	3700	3180	60	1	72	Челябинск	0,35	6
19	Зола*	4400	5300	60	1	64	Чита	0,5	7

20	Аммиак	7900	2540	60	1,2	91	Курск	0,2	8
21	Азота диоксид	11 800	1400	90	1	88	Ярославль	0,2	1
22	Зола сланцевая**	9400	1320	60	1,4	58	Самара	0,3	2
23	Формальдегид	3780	2330	120	1,2	65	Иваново	0,035	3
24	Формальдегид	5600	2700	60	1	72	Курган	0,035	4
25	Зола***	9450	4420	60	1	89	Иркутск	0,5	5
26	Сажа	19 600	4100	90	1,5	88	Братск	0,15	6
27	Сажа	13 750	2970	90	1,5	74	Владимир	0,15	7
28	Хлор	8300	2200	60	1	70	Пенза	0,1	8
29	Серная кислота	8420	2460	30	1	66	Киров	0,3	1
30	Азотная кислота	7500	1200	30	0,8	65	Сызрань	0,15	5

\* Выбрасывается после очистки с эффективностью 95 %.

\*\* Выбрасывается после очистки с эффективностью 80 %.

\*\*\* Выбрасывается после очистки с эффективностью 70 %.

## Оглавление

Введение .....	3
Основные термины и определения .....	4
1. Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферу .....	8
1.1. Расчетный метод .....	8
1.2. Инструментальный метод .....	22
2. Расчет выбросов загрязняющих веществ от стоянок автомобилей .....	24
3. Оценка качества атмосферного воздуха. Нормирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу . . . .	44
3.1. Классификация состояния загрязнения атмосферного воздуха .....	51
3.2. Классификация источников выбросов. Классификация предприятий по степени воздействия на атмосферный воздух . . .	56
4. Рассеивание в атмосфере загрязняющих веществ. Нормирование источников загрязнения атмосферы .....	63
4.1. Расчет приземных концентраций загрязняющих веществ от одиночного точечного источника .....	67
4.2. Расчет ПДВ (для действующих предприятий) .....	72
4.3. Расчет минимальной высоты трубы (для вновь строящихся предприятий) .....	73
Рекомендуемая литература .....	77
Приложения .....	78

Учебное издание

**Куц** Елена Владиславовна  
**Суханова** Инна Ивановна

# **ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА**

Учебное пособие

Редактор и корректор *К. И. Бойкова*  
Компьютерная верстка *О. Н. Комиссаровой*

Подписано к печати 11.12.2019. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 6,39. Тираж 100 экз. Заказ 184. «С» 107.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.  
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.

ДЛЯ ЗАПИСЕЙ