

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**РУБЦОВСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**  
(филиал) федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
«Алтайский государственный технический университет  
имени И.И. Ползунова»

Технический факультет  
Кафедра «Наземные транспортные системы»

**Н.А. Чернецкая**

**ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ**

Методические указания  
к выполнению практических работ и СРС по дисциплине  
«Инженерная экология»  
для студентов всех форм обучения

Рубцовск 2021

УДК 574 (075.8)

Чернецкая Н.А. **Инженерная экология.** Методические указания к выполнению практических работ и СРС по дисциплине «Инженерная экология» для студентов всех форм обучения / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск: ИТО, 2021. - с.

Предназначены в качестве руководства при выполнении студентами практических работ и самостоятельной работы по дисциплине «Инженерная экология». Содержат теоретические сведения, методику и пример расчета, варианты индивидуальных расчетных заданий, список рекомендуемых источников.

Рассмотрены и одобрены  
на заседании НМС  
Рубцовского индустриального института.  
Протокол № \_\_\_\_ от \_\_.\_\_.2021 г.

Рецензент: к.т.н., доцент                      Э.С. Маршалов

© Рубцовский индустриальный институт, 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>1 ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ</b> .....	5
1.1 Контроль качества атмосферного воздуха.....	5
1.2 Нормирование качества атмосферного воздуха.....	6
<b>2 РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ПРОМЫШ- ЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ</b> .....	11
2.1 Расчет концентраций, обусловленных выбросами одиночного источни- ка.....	13
2.1.1 Основная расчетная формула.....	13
2.1.2 Климатический коэффициент $A$ , зависящий от температурной стратифи- кации атмосферы.....	14
2.1.3. Коэффициент $F$ , учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосфере.....	14
2.1.4 Коэффициенты $m$ и $n$ , учитывающие подъем факела под трубой.....	15
2.1.5 Расстояние $X_m$ от источника до координаты максимума concentra- ций.....	16
2.1.6 Опасная скорость ветра $U_m$ .....	17
2.1.7 Предельно допустимый выброс вредных веществ в атмосферу (ВДВ).....	18
2.1.8 Пример расчета.....	19
<b>3 ВАРИАНТЫ ЗАДАЧ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ</b> .....	21
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	38

## ВВЕДЕНИЕ

*Загрязнение атмосферы* - привнесение в атмосферу или образование в ней физико-химических агентов и веществ, обусловленное как природными, так и антропогенными факторами. Естественными источниками загрязнения атмосферы служат вулканизм, лесные пожары, пыльные бури, выветривание и пр. Эти факторы не угрожают отрицательными последствиями природным экосистемам, за исключением некоторых катастрофических природных явлений. Например, извержение вулкана Кракатау в 1883 г., когда в атмосферу было выброшено  $18 \text{ км}^3$  тонко измельченного пеплового материала; извержение вулкана Катмай (Аляска) в 1912 г., выбросившего  $20 \text{ км}^3$  рыхлых продуктов. Пепел этих извержений распространился на большую часть поверхности Земли и вызвал уменьшение притока солнечной радиации на 10-20%, что вызвало в северном полушарии понижение среднегодовой температуры воздуха на  $0,5^\circ\text{C}$  [1].

Однако в последние десятилетия антропогенные факторы загрязнения атмосферы стали превышать по масштабам естественные, приобретая глобальный характер. Они могут оказывать различные воздействия на атмосферу: непосредственное - на состояние атмосферы (нагревание, изменение влажности и др.); воздействие на физико-химические свойства атмосферы (изменение состава, увеличение концентрации  $\text{CO}_2$ , аэрозолей, фреонов и пр.); воздействие на свойства подстилающей поверхности (изменение величины альбедо, системы "океан-атмосфера" и др.) (Израэль, 1984). К основным источникам загрязнения относятся: промышленные предприятия, транспорт, теплоэнергетика, сельское хозяйство и др. Среди отраслей промышленности особенно токсичные выбросы в атмосферу дают предприятия цветной металлургии, химической, нефтехимической, черной металлургии, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности и т.д.

В настоящих методических указаниях приведены материалы, необходимые для выполнения практической работы по дисциплине «Экология» для студентов технических и экономических специальности всех форм обучения.

В методических указаниях рассмотрены вопросы «Контроль качества атмосферного воздуха» и «Нормирование качества атмосферного воздуха», приведена методика расчета загрязнения атмосферы выбросами промышленных предприятий и пример расчета по данной методике, а также варианты задач для самостоятельного решения и список использованных источников.

## 1 ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ

### 1.1 Контроль качества атмосферного воздуха

Проблема загрязнения воздуха в городах и общее ухудшение качества атмосферного воздуха вызывает серьезную озабоченность. Для оценки уровня загрязнения атмосферы в 506 городах России создана сеть постов общегосударственной службы наблюдений и контроля загрязнения атмосферы как части природной среды. На сети определяется содержание в атмосфере различных вредных веществ, поступающих от антропогенных источников выбросов. Наблюдения проводятся сотрудниками местных организаций Роспотребнадзора, санитарно-промышленных лаборатории различных предприятий. В некоторых городах наблюдения проводятся одновременно всеми ведомствами.

Контроль качества атмосферного воздуха в населенных пунктах организуется в соответствии с ГОСТом 17.2.3.01-86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов», для чего устанавливаются **три категории** постов наблюдений за загрязнением атмосферы: ***стационарный, маршрутный, передвижной или подфакельный.***

***Стационарные посты*** предназначены для обеспечения непрерывного контроля за содержанием загрязняющих веществ или регулярного отбора проб воздуха для последующего контроля, для этого в различных районах города устанавливаются стационарные павильоны, оснащенные оборудованием для

проведения регулярных наблюдений за уровнем загрязнения атмосферы. Регулярные наблюдения проводятся и на *маршрутных постах*, с помощью оборудованных для этой цели автомашин. Наблюдения на стационарных и маршрутных постах в различных точках города позволяет следить за уровнем загрязнения атмосферы. В каждом городе проводят определения концентраций основных загрязняющих веществ, т.е. тех, которые выбрасываются в атмосферу почти всеми источниками: пыль, оксиды серы, оксиды азота, оксид углерода и др. Кроме того, измеряются концентрации веществ, наиболее характерных для выбросов предприятий данного города, например, в Барнауле - это пыль, диоксиды серы, и азота, оксид углерода, сероводород, сероуглерод, фенол, формальдегид, сажа и др. вещества.

Для изучения особенностей загрязнения воздуха выбросами отдельных промышленных предприятий проводятся измерения концентраций с подветренной стороны под дымовым факелом, выходящим из труб предприятия на разном расстоянии от него. *Подфакельные* наблюдения проводятся на автомашине или на стационарных постах. Чтобы детально ознакомиться с особенностями загрязнения воздуха, создаваемого автомобилями, проводятся специальные обследования вблизи магистралей.

## 1.2 Нормирование качества атмосферного воздуха

Основной величиной экологического нормирования содержания вредных веществ в воздухе является *предельно-допустимая концентрация (ПДК)*.

*ПДК* - это такое содержание вредного вещества в окружающей среде, которое при постоянном контакте или при воздействии за определенный промежуток времени практически не влияет на здоровье человека и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства.

При определении ПДК учитывается не только влияние вредных веществ на здоровье людей, но и их воздействие на растительность, животных, микроорга-

низмы, климат, прозрачность атмосферы, а также на природные сообщества в целом.

В России ПДК вредных веществ, были введены в 1951 году, они устанавливаются Минздравом РФ.

Для санитарной оценки воздушной среды используются несколько видов предельно-допустимых концентраций вредных веществ:

- предельно- допустимая концентрация для воздуха рабочей зоны (ПДК<sub>р.з.</sub>);
- предельно- допустимая концентрация для атмосферного воздуха, максимально-разовая (ПДК<sub>м.р.</sub>) и среднесуточная (ПДК<sub>ср.с.</sub>);
- предельно-допустимая концентрация для мест воздухозабора на заводской площадке, которая принимается равной 30% ПДК для рабочей зоны.

ПДК<sub>р.з.</sub> - предельно-допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны, мг/м<sup>3</sup>. Эта концентрация не должна вызывать у работающих при ежедневном вдыхании в течение 8 ч за все время рабочего стажа каких-либо заболеваний или отклонений от нормы в состоянии здоровья, которые могли быть обнаружены современными методами исследования непосредственно во время работы или в отдаленные сроки жизни. При этом **рабочей зоной** считается пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которой расположены рабочие места. В настоящее время действуют ПДК для более 400 вредных веществ в воздухе рабочей зоны, которые приведены в ГОСТ 12.1.005-88 ССБХ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов регламентируются «Списком ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» № 086-84, утвержденным Минздравом СССР 27.09.84 и дополнениями к нему, которые приведены в РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы» [2]. В «Списке...» установлены: класс опасности вещества, предельно-допустимые максимально-разовая и среднесуточная концентрации примесей.

**ПДК<sub>м.р.</sub>** - это концентрация, которая оказывает немедленное воздействие на организм человека (запах, световое ощущение и т.п.) при 20-минутном воздействии вещества;

**ПДК<sub>ср.с.</sub>** - эта концентрация вредного вещества не должна оказывать прямого или косвенного вредного воздействия на организм человека в условиях неопределенно долгого круглосуточного вдыхания, она устанавливается для веществ, способных накапливаться в организме, вызывая в нем вредные изменения.

В настоящее время установлены ПДК вредных веществ в воздухе населенных мест для более 100 загрязняющих веществ, наиболее распространенные из которых приведены в таблице 1.

Для вредных веществ, ПДК которых не утверждены, определены **ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ)** загрязняющих веществ в атмосфере населенных пунктов. ОБУВ, утверждается сроком на три года.

В тех случаях, когда вещества могут оказывать немедленное воздействие в сочетании с накоплением в организме, для них устанавливаются максимально-разовая и среднесуточная ПДК. В большинстве случаев при соблюдении максимально-разовых ПДК среднесуточные концентрации оказываются ниже соответствующих им ПДК<sub>м.р.</sub> Поэтому проверка достаточности намечаемых мероприятий по защите атмосферы, как правило, производится по максимально-разовым ПДК. Но, если предприятия расположены вокруг жилого массива, который большую часть суток находится в задымленной зоне, при расчетах в целом по массиву проверку мероприятий осуществляют по среднесуточным ПДК.

**Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест (список № 3086-84) [3]**

Вещества	ПДК, мг/м <sup>3</sup>		
	Максимально разовая	Среднесуточная	Класс опасности
Азота диоксид	0,085	0,04	2
Азота оксид	0,6	0,06	3
Аммиак	0,2	0,04	4
Бенз (а) пирен	-	0,1 мкг/100 м <sup>3</sup>	1
Взвешенные вещества (недифференцированная по составу пыль (аэрозоль), содержащаяся в воздухе населенных пунктов)	0,5	0,15	3
Кислота азотная по молекуле HNO <sub>3</sub>	0,4	0,15	2
Кислота серная по молекуле H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,3	0,1	2
Кислота уксусная	0,2	0,06	3
Озон	0,16	0,03	1
Пыль неорганическая, содержащая диоксид кремния в %:			
выше 70 ( динас и др. )	0,15	0,05	3
70-20 ( шамот, цемент и др. )	0,3	0,1	3
ниже 20 ( доломит и др. )	0,5	0,15	3
Ртуть металлическая	-	0,0003	1
Сажа	0,15	0,05	3
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца ( в перерасчете на свинец )	-	0,0003	1
Сероводород	0,008	-	2
Сероуглерод	0,03	0,005	2
Толуол	0,6	0,6	3
Углерода оксид	5	3	4
Фенол	0,01	0,003	2
Формальдегид	0,035	0,003	2
Хлор	0,05	0,03	2
Циановодород	-	0	1

Учитывая, что некоторые химические вещества при их совместном присутствии в атмосфере могут усиливать взаимное воздействие на организм, т.е. обладают *эффектом суммации*, он был введен в качестве норматива для многих вредных веществ. При этом должно выполняться условие:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_m}{ПДК_m} < 1,$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_m$  - концентрация вредных веществ в воздухе мг/м<sup>3</sup>;

$ПДК_1, ПДК_2, \dots, ПДК_m$  - предельно- допустимые концентрации в атмосферном воздухе, устанавливаемые для каждого вещества, мг/м<sup>3</sup>.

Эффектом суммации обладают:

1. Ацетон, фенол
2. Озон, диоксид азота и формальдегид
3. Диоксид серы и аэрозоль серной кислоты
4. Диоксид серы и сероводород
5. Диоксид серы и диоксид азота
6. Диоксид серы, и оксид углерода, фенол и пыль конверторного производства
7. Диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота и фенол
8. Диоксид серы и фенол
9. Оксид и диоксид серы, аммиак и оксид азота
10. Сильные минеральные кислоты (серная, соляная и азотная)
11. Углерода оксид и пыль цементного производства

Практика показывает, что действующие предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ отвечают лишь требованиям поддержания безопасного уровня их содержания в соответствующей среде. Что касается объема и состава выбросов загрязняющих веществ отдельным предприятием или каким-либо другим источником, то контролировать их через ПДК затруднительно. Поэтому в стране разработаны **нормы временно согласованных и предельно-допустимых выбросов в атмосферу**, которые вводятся в действие с учетом соблюдения установленных нормативов предельно-допустимых концентраций загрязняющих веществ.

**Временно согласованные выбросы (ВСВ)** - это выбросы, существующие сейчас или которые будут существовать после осуществления промежуточной реконструкции на предприятиях с внедрением наилучшей достигнутой технологии производства.

**Предельно-допустимые выбросы (ПДВ)** - это выбросы, обеспечивающие предельно-допустимую для населенной зоны концентрацию (ПДК) вредного

вещества от данного источника (если он в районе один) или установленную для него долю ПДК (если в районе ряд источников той же вредности) и устанавливаются в соответствии с ГОСТ 17.2.3.02-78 "Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями".

При установлении ПДВ для каждого предприятия принимается во внимание перспектива развития промышленного производства в этом районе, расположение уже действующих предприятий и жилой застройки, географические климатические условия местности, расположение санитарно-защитных и рекреационных зон.

Если в воздухе города концентрации вредных веществ превышают ПДК, а их выбросы по причинам объективного характера не могут быть в данный момент снижены до уровня ПДВ, в городе может быть введено поэтапное снижение выбросов вредных веществ действующими предприятиями до значений, обеспечивающих ПДК вредных веществ; или до полного прекращения выбросов. На каждом этапе до обеспечения величин ПДВ устанавливают временно согласованные выбросы (ВСВ) по аналогии с предприятиями, близкими по мощности и типу производства, с наиболее прогрессивной технологией.

## **2 РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Вредные вещества, выбрасываемые из труб и вентиляционных устройств промышленных предприятий, рассеиваются в атмосфере.

На процесс рассеивания выбросов оказывают влияние:

- состояние атмосферы;
- расположение предприятий;
- характер местности;
- физические и химические свойства выбрасываемых веществ;
- высота источника выбросов;

- диаметр устья источника и др.

Основным документом, регламентирующим расчет рассеивания и определения приземных концентраций веществ, выбрасываемых предприятиями, является ОНД - 86.

Для характеристики объема вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу отдельными источниками загрязнения, установлена величина **предельно допустимого выброса (ПДВ)**, которая рассчитывается по ОНД-86 и регламентируется ГОСТом 17.2.3.02-78.

В основу «Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» - ОНД-86 положено условие, при котором **суммарная концентрация каждого вредного вещества** ( $C_{\Sigma}$ , мг/м<sup>3</sup>) **не должна превышать максимально разовую ПДК данного вещества в атмосферном воздухе:**

$$C_{\Sigma} = (C_m + C_{\phi}) < ПДК_{м.р.} \quad (1)$$

$C_m$  - максимальная концентрация загрязняющего вещества в приземном воздухе, создаваемая источниками выбросов, мг/м .

$C_{\phi}$  - фоновая концентрация загрязняющего вещества, характерная для данной местности, мг/м.

Нормативный метод позволяет рассчитывать концентрации, создаваемые дымовыми трубами. Эти концентрации относятся к так называемым **«неблагоприятным метеоусловиям»**, продолжительность которых не превышает 1-2 % дней в году.

## 2.1 Расчет концентраций, обусловленных выбросами одиночного источника

### 2.1.1 Основная расчетная формула

Под одиночным или точечным, источником понимается дымовая труба предприятия.

Опорным значением является максимальное значение обусловленной предприятием приземной концентрации.

Максимальная приземная концентрация вредного вещества ( $C_m$  мг/м<sup>3</sup>) при выбросе газовой смеси из точечного источника с круглым устьем достигается при неблагоприятных метеоусловиях на расстоянии  $X_m$  (м) от источника:

а) для горячих источников ( $\Delta T \gg 0$ )

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

б) для источников, температура выбросов которых мало отличается от температуры воздуха, ( $\Delta T \approx 0$ )

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot \eta \cdot K}{H^{4/3}} \quad (3)$$

где  $H$  - высота трубы, м;

$M$  - масса выбрасываемого в атмосферу в единицу времени вещества, г/с;

$\Delta T = T_2 - T_6$  - разность температур выбрасываемых газов и атмосферного воздуха;

$V_1$  - полный расход выбрасываемых газов на срезе трубы, м<sup>3</sup>/с определяется по формуле

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

$D$  - диаметр устья источника, м;

$\omega_0$  - средняя скорость выхода газов из источника выбросов, м/с;

$\eta$  - безмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа. Для равнинного ландшафта  $\eta = 1$ ;

$A, F, m, n$  - коэффициенты, определение которых дано ниже.

### 2.1.2 Климатический коэффициент $A$ , зависящий от температурной стратификации атмосферы

Рассеивающие свойства атмосферы при неблагоприятных метеоусловиях, т.е. при условиях, отвечающих максимуму концентраций, определяются климатической зоной РФ и приведены в таблице 2:

Таблица 2

Значение коэффициента  $A$  [3]

Географические районы РФ	$A$
Читинская область, Бурятия	250
Для районов РФ южнее 50° с.ш.; для остальных районов Нижнего Поволжья, Кавказа; для азиатской территории РФ, Дальнего Востока, <b>остальной территории Сибири</b>	200
Для Европейской территории РФ и Урала от 50 до 52° с.ш. (за исключением центра ЕТ)	180
Европейская территория РФ и Урала севернее 52° с.ш. (за исключением центра ЕТ)	160
Московская, Тульская, Рязанская, Владимирская, Калужская, Ивановская области	140

### 2.1.3. Коэффициент $F$ , учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосфере

Интенсивность оседания вредных веществ зависит:

- от скорости оседания частиц;
- турбулентности;

- скорости ветра;
- размеров частиц и т.д.

Таблица 3

Значение безразмерного коэффициента  $F$  [3]

Наименование	$F$
Газы, мелкодисперсные аэрозоли (пыли, золы и т. п.), скорость упорядоченного оседания которых практически равна 0	1
Мелкодисперсные аэрозоли (кроме указанных выше) при коэффициенте очистки:	
не менее 90%	2
от 75 % до 90%	2,50
менее 75%	3
при отсутствии очистки	3

### 2.1.4 Коэффициенты $m$ и $n$ , учитывающие подъем факела под трубой

Значение этих коэффициентов определяются по вспомогательным величинам, вычисляемым в свою очередь по конструктивным параметрам:

$$f = 1000 \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} \quad (5)$$

$$V_m = 0,653 \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} \quad (6)$$

$$V'_m = 1,3 \frac{\omega_d \cdot D}{H} \quad (7)$$

$$f_e = 800 \cdot (V'_m)^3 \quad (8)$$

Коэффициент  $m$  определяется по формуле:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f < 100 \quad (9)$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f \geq 100 \quad (10)$$

В случаях, когда  $f_e < f < 100$ , коэффициент  $m$  вычисляется при  $f = f_e$ .

Коэффициент  $n$  при  $f < 100$  определяется в зависимости от  $V_M$ :

$$\text{а) } n = 1 \quad \text{при } V_M \geq 2;$$

$$\text{б) } n = 0,532 \cdot V_M^2 - 2,13 \cdot V_M + 3,13 \quad \text{при } 0,5 \leq V_M < 2.$$

Для холодных выбросов ( $\Delta T \approx 0$ ) расчет приземной концентрации выполняется по формуле (3), в которой

$$K = \frac{D}{8V_1} = \frac{1}{7,1\sqrt{\omega_0 \cdot V_1}} \quad (11)$$

Для предельно малых опасных скоростей ветра, когда  $f < 100$ ,  $V_M < 0,5$  или  $f > 100$ ,  $V'_M < 0,5$  приземные концентрации рассчитываются по формуле

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m' \cdot n \cdot \eta}{H^{7/3}}, \quad (12)$$

$$m' = 2,86 \quad \text{при } f < 100, V_M < 0,5;$$

$$m' = 0,9 \quad \text{при } f \geq 100, V'_M < 0,5.$$

### 2.1.5 Расстояние $X_M$ от источника до координаты максимума концентраций

Для горячих источников расстояние  $X_M$  (м) от источника выбросов до точки, в которой приземная концентрация  $C$  (мг/м<sup>3</sup>) при неблагоприятных метеоусловиях достигает максимального значения  $C_M$  определяется по формуле

$$X_M = \frac{5 - F}{4} \cdot H \cdot d, \quad (13)$$

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

$$d = 2,48(1 + 0,28 \cdot \sqrt{f}) \text{ при } V_M \leq 0,5; \quad (14)$$

$$d = 4,95 \cdot V_M \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \text{ при } 0,5 < V_M \leq 2; \quad (15)$$

$$d = 7 \cdot \sqrt{V_M} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \text{ при } V_M > 2. \quad (16)$$

Для холодных источников при  $f < 100$  значение коэффициента  $d$  находится по формулам:

$$d = 5,7 \text{ при } V'_M < 0,5; \quad (17)$$

$$d = 11,4 \cdot V'_M \text{ при } 0,5 < V'_M \leq 2; \quad (18)$$

$$d = 16 \cdot \sqrt{V'_M} \text{ при } V'_M > 2. \quad (19)$$

### 2.1.6 Опасная скорость ветра $U_M$

Как показали исследования, при прочих равных условиях приземная концентрация достигает своего максимума  $C_M$  при некоторой, получившей название **опасной скорости ветра**  $U_M$  (м/с). При больших и меньших скоростях концентрации снижаются.

Поскольку скорость ветра с высотой увеличивается, принято измерять ее на отметке 10м.

Для горячих источников в случае  $f < 100$  опасная скорость ветра определяется по формуле:

$$U_M = 0,5 \text{ при } V_M \leq 0,5; U_M = V_M \text{ при } 0,5 < V_M < 2; \quad (20)$$

$$U_M = V_M(1 + 0,12\sqrt{f}) \text{ при } V_M > 2. \quad (21)$$

Для холодных источников в случае  $f \geq 100$ :

$$U_{\text{м}} = 0,5 \text{ при } V'_{\text{м}} \leq 0,5; U_{\text{м}} = V'_{\text{м}} \text{ при } 0,5 < V'_{\text{м}} < 2; \quad (22)$$

$$U_{\text{м}} = 2,2 \cdot V'_{\text{м}} \text{ при } V'_{\text{м}} > 2. \quad (23)$$

### 2.1.7 Предельно допустимый выброс вредных веществ в атмосферу (ВДВ)

ПДВ устанавливается для каждого источника загрязнения атмосферы таким образом, чтобы выбросы вредных веществ от данного источника и от совокупности источников города с учетом перспективы развития промышленных предприятий и рассеивания вредных веществ в атмосфере, не создавали приземную концентрацию, превышающую их ПДК для населения, растительного и животного мира (ГОСТ 17.2.3.02-78).

ПДВ (г/с) должны устанавливаться для времени года и нагрузки, сочетание которых дает максимальные приземные концентрации. Для ТЭЦ, например, это наиболее холодный период года, когда тепловые и электрические нагрузки максимальны. ПДВ устанавливается для каждой дымовой трубы и предприятия в целом.

ПДВ определяется для каждого вещества отдельно, в том числе и в случаях **учета суммации вредного действия нескольких веществ.**

При установлении ПДВ учитываются **фоновые** концентрации  $C_{\phi}$ . Значение ПДВ (г/с) для одиночного источника с круглым устьем в случаях  $C_{\phi} < ПДК$  определяется для горячих источников по формуле:

$$ПДВ = \frac{(ПДК_{\text{м.р.}} - C_{\phi}) \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}, \text{ г/с} \quad (24)$$

Для холодных выбросов ( $\Delta T \approx 0$ ), в случае  $f \geq 100$ :

$$ПДВ = \frac{(ПДК_{м.р.} - C_{\phi}) \cdot H^{4/3}}{A \cdot F \cdot n \cdot \eta} \cdot \frac{8 \cdot V_1}{D}, \text{ г/с} \quad (25)$$

### 2.1.8 Пример расчета

В городе Барнауле имеется котельная, расположенная на ровной местности, время ее работы 5760 час/год. Высота дымовой трубы  $H = 35$  м; диаметр устья  $D = 1,4$  м; объем выбрасываемой газовой смеси  $V_1 = 10,8$  м<sup>3</sup>/с; валовой выброс золы  $M = 2,6$  г/с;  $C_{\phi} = 0$ ;  $ПДК_{м.р.} = 0,05$  мг/м<sup>3</sup> для золы; температура газовой смеси  $T_1 = +125^{\circ}C$ , температура самого жаркого месяца (июль)  $T_2 = +25^{\circ}C$ .

**2.1.8.1** Определить величину максимального загрязнения  $C_m$  золой приземного слоя атмосферы и сравнить ее с ПДК. Расчетные формулы:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \text{ мг/м}^3$$

а)  $\Delta T = 125^{\circ} - 25^{\circ} = 100^{\circ}$ ;

б)  $V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \omega_0$ ;  $\omega_0 = \frac{4V_1}{\pi D^2}$ ;

$$\omega_0 = \frac{4 \cdot 10,8}{3,14 \cdot 1,4^2} = 7,02 \text{ м/с};$$

в)  $f = 1000 \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}$ ;  $f = 1000 \frac{7,02^2 \cdot 1,4}{35^2 \cdot 100} = 0,56$ ;

$$V_m = 0,653 \sqrt{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}; V_m = 0,653 \sqrt{\frac{10,8 \cdot 100}{35}} = 2,04$$

г)  $m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}$  при  $f < 100$ ;

$$f < 100; m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,56} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,56}} = 0,98;$$

д) при  $f < 100; n = 1$  при  $V_M \geq 2$ ;

е)  $A = 200$  (по табл. 2);  $F = 1$  (по табл.3);  $\eta = 1$ ;

$$C_M = \frac{200 \cdot 2,6 \cdot 1 \cdot 0,98 \cdot 1 \cdot 1}{35^2 \sqrt[3]{10,8 \cdot 100}} = 0,041 \text{ мг/м}^3; C_M < ПДК_{м.р.}$$

### 2.1.8.2. Определить расстояние $X_M$

$$X_M = \frac{5 - F}{4} \cdot H \cdot d, \text{ м};$$

при  $V_M > 2$   $d = 7 \cdot \sqrt{V_M} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f})$ ;

$$d = 7 \cdot \sqrt{2,04} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{0,56}) = 12,32;$$

$$X_M = \frac{5 - 1}{4} \cdot 35 \cdot 12,32 = 431,2, \text{ м.}$$

### 2.1.8.3. Определить значение $U_M$ (м/с)

При  $f < 100; V_M > 2$ ;  $U_M = V_M (1 + 0,12 \sqrt{f})$  м/с;

$$U_M = 2,04 (1 + 0,12 \sqrt{0,56}) = 2,22 \text{ м/с};$$

### 2.1.8.4. Рассчитать ПДВ (г/с, т/год)

$$C_\phi = 0 < ПДК_{м.р.};$$

$$ПДВ = \frac{(ПДК_{м.р.} - C_\phi) \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}, \text{ г/с};$$

$$ПДВ = \frac{(0,05 - 0) \cdot 35^2}{200 \cdot 1 \cdot 0,98 \cdot 1 \cdot 1} \cdot \sqrt[3]{10,8 \cdot 100} = 3,21 \text{ г/с.}$$

За год работы котельной ПДВ составит:

$$ПДВ = 3,21 \cdot 3600 \cdot 5760 \text{ час} = 66,56 \text{ т/год.}$$

### 3 ЗАДАНИЕ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Вариант задания практической работы в таблице 4 выбирается по двум последним цифрам номера зачетной книжки студента.

Таблица 4

№ вариан- та	Комплекты заданных значений общего условия задачи (таблица 5)	
	для горячих выбросов в атмо- сферу	для холодных выбросов в атмо- сферу
1	1	25
2	2	25
3	4	25
4	5	25
5	6	25
6	8	17
7	9	17
8	10	17
9	12	17
10	13	17
11	14	11
12	15	11
13	16	11
14	18	11
15	19	11
16	20	7
17	21	7
18	22	7
19	23	7
20	24	7
21	26	3
22	27	3
23	28	3

Ниже приводятся общее условие задачи и 28 комплектов заданных значений условия. Необходимо решить задачу для двух комплектов заданных значений: для горячих выбросов в атмосферу, для холодных выбросов в атмосферу.

В городе имеется предприятие, расположенное на ровной местности. Высота дымовой трубы  $H$  (м); диаметр устья трубы  $D$  (м); объем выбрасываемой газоздушной смеси  $V_1$  (м<sup>3</sup>/с); валовой выброс вредного вещества  $M$  (г/с); при наличии пылеулавливающего оборудования степень очистки составляет, заданное в таблице 5, количество процентов; температура отходящих газов  $T_2$  (°С); температура самого жаркого месяца (июль)  $T_{\text{воздуха}}$ , °С. Котельная работает, заданное в таблице 4, количество час/год; фоновая концентрация вещества  $C_{\phi}$ , мг/м<sup>3</sup>; предельно-допустимая концентрация вещества в атмосферном воздухе  $ПДК_{\text{м.р.}}$ , мг/м<sup>3</sup>.

Определить:

1. Величину  $C_M$  и сравнить с  $ПДК_{\text{м.р.}}$ ;
2. Расстояние  $X_M$  от предприятия, на котором при неблагоприятных условиях достигается  $C_M$ .
3. Значение опасной скорости ветра  $U_M$ , при которой достигается  $C_M$ ,
4. ПДВ для предприятия по вредному веществу.

Таблица 5

№	Тип предприятия	Высота дымовой трубы $H$ , м	Диаметр устья трубы $D$ , м	Объем выбрасываемой газовой смеси $V_1$ , м <sup>3</sup> /с	Валовой выброс вещества $M$ , г/с	Степень очистки пылеулавливающего оборудования, %	Температура отходящих газов $T_2$ , °С	Температура самого жаркого месяца (июль) $T_{\text{воздуха}}$ , °С	Время работы, ч/г	Фоновая концентрация вещества $C_{\phi}$ , мг/м <sup>3</sup>	Предельно-допустимая концентрация вещества в атмосферном воздухе $ПДК_{\text{м.р.}}$ , мг/м <sup>3</sup>	Вредное вещество
1	котельная	25	1	9,8	2,6	93,4	+115	+25	5760	0	0,05	зола
2	котельная	32	1,2	8,33	4	90	+120	+25	5760	0,15	0,3	зола
3	цех азотации деталей	16	1	2,8	1,2	0	+25	+25	3120	0	0,2	аммиак
4	ТЭЦ-3	230	7,2	614,6	2232,5	97	+125	+25	8760	0,06	0,3	зола
5	ТЭЦ	150	6	556,6	3526	<99	+130	+25	8760	0,1	0,3	зола
6	ТЭС	230	7,8	565,8	2241	90	+130	+25	7200	0,065	0,3	зола
7	цех по производству минеральных удобрений	86	3,8	240	1246	0	+30	+28	5250	0	0,2	аммиак
8	котельная	30	0,63	4,83	0,32	95	+190	+25	5328	0	0,3	зола
9	котельная	25	0,8	3,89	1,92	90	+190	+25	5238	0	0,5	зола
10	котельная	30	0,63	4,83	0,89	0	+190	+25	5676	0,92	5	оксид углерода
11	деревообрабатывающий цех	6	0,35	0,58	0,12	95	+25	+25	2540	0	0,5	пыль (опилки)
12	котельная	35	1,4	7	2,6	0	+125	+25	5874	0	0,3	зола
13	котельная	35	1,4	10,8	0,2	0	+125	+25	5620	0	0,085	диоксид азота
14	котельная	40	1,8	12,2	0,3	0	+130	+25	5840	0	0,085	диоксид азота

№	Тип предприятия	Высота дымовой трубы $H$ , м	Диаметр устья трубы $D$ , м	Объем выбрасываемой газовой смеси $V_1$ , м <sup>3</sup> /с	Валовый выброс вещества $M$ , г/с	Степень очистки пылеулавливающего оборудования, %	Температура отходящих газов $T_2$ , °С	Температура самого жаркого месяца (июль) $T_{\text{воздуха}}$ , °С	Время работы, ч/г	Фоновая концентрация вещества $C_{\phi}$ , мг/м <sup>3</sup>	Предельно-допустимая концентрация вещества в атмосферном воздухе $ПДК_{\text{м.р.}}$ , мг/м <sup>3</sup>	Вредное вещество
15	котельная	25	1	9,8	2,2	93,4	+115	+25	5760	1,3	5	оксид углерода
16	котельная	32	1,2	8,33	1,9	90	+120	+25	5760	0,8	5	оксид углерода
17	цех азотации деталей	16	1	2,8	2,8	0	+25	+19	3120	0	0,085	диоксид углерода
18	ТЭЦ-3	150	7,2	556,6	1428,3	97	+175	+25	8760	0,06	0,3	зола
19	ТЭЦ	150	6	556,6	400	90	+130	+25	8760	0,006	0,085	диоксид азота
20	ТЭС	230	7,8	565,8	485	0	+130	+25	7200	0,02	0,5	диоксид серы
21	цех по производству минеральных удобрений	86	3,8	240	1563	0	+130	+28	5250	0,006	0,085	диоксид азота
22	котельная	30	0,63	4,83	0,19	0	+190	+25	5328	0	0,5	диоксид серы
23	котельная	25	0,8	3,89	0,082	0	+190	+25	5238	0	0,5	диоксид азота
24	котельная	30	0,63	4,83	0,2	0	+190	+25	5676	0	0,085	диоксид азота
25	деревообрабатывающий цех	4	0,3	0,58	0,22	95	+18	+25	520	0	0,5	абразивная пыль
26	котельная	35	1,4	7	12	0	+125	+25	5874	0	0,5	диоксид серы

№	Тип предприятия	Высота дымовой трубы $H$ , м	Диаметр устья трубы $D$ , м	Объем выбрасываемой газовой смеси $V_1$ , м <sup>3</sup> /с	Валовый выброс вещества $M$ , г/с	Степень очистки пылеулавливающего оборудования, %	Температура отходящих газов $T_2$ , °С	Температура самого жаркого месяца (июль) $T_{\text{воздуха}}$ , °С	Время работы, ч/г	Фоновая концентрация вещества $C_{\phi}$ , мг/м <sup>3</sup>	Предельно-допустимая концентрация вещества в атмосферном воздухе $ПДК_{\text{м.р.}}$ , мг/м <sup>3</sup>	Вредное вещество
27	котельная	35	1,4	10,8	9,4	0	+125	+25	5620	0	0,5	диоксид серы
28	котельная	40	1,8	12,2	10,2	0	+130	+25	5840	0	0,5	диоксид серы

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Братчикова, И. Г. Физико-химические основы инженерной экологии : учебное пособие / И. Г. Братчикова. — Москва : Российский университет дружбы народов, 2011. — 124 с. — ISBN 978-5-209-03579-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/11405.html> (дата обращения: 22.02.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
2. Быков, А. П. Инженерная экология. Часть 1 : учебное пособие / А. П. Быков. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2011. — 208 с. — ISBN 978-5-7782-1634-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/44925.html> (дата обращения: 22.02.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
3. Быков, А. П. Инженерная экология. Часть 2. Основы экологии производства : учебное пособие / А. П. Быков. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2011. — 156 с. — ISBN 978-5-7782-1772-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/44926.html> (дата обращения: 22.02.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
4. Быков, А. П. Инженерная экология. Часть 3. Основы экологии производства : учебное пособие / А. П. Быков. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 335 с. — ISBN 978-5-7782-2360-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/44927.html> (дата обращения: 22.02.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
5. Быков, А. П. Инженерная экология. Часть 4. Основы экологии производства : учебное пособие / А. П. Быков. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2014. — 104 с. — ISBN 978-5-7782-2476-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR

BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/44928.html> (дата обращения: 22.02.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

6. Вронский В.А. Прикладная экология: учебное пособие. Ростов н/Д.: Изд-во «Феникс», 1996. – 512 с.

7. Лобанова З.М. Экология и защита биосферы: Учебное пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова: Изд-во АлтГТУ, 2004. – 228 с.

8. Новиков, В. К. Экология и инженерная защита окружающей среды : курс лекций / В. К. Новиков. — Москва : Московская государственная академия водного транспорта, 2020. — 234 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/97330.html> (дата обращения: 22.02.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

9. Общественное экологическое движение России: Справ. изд. / Под ред. А.К. Смирнова. – М: Экология, 1995. – 254 с.

Чернецкая Наталья Анатольевна

## **Инженерная экология.**

Методические указания к выполнению практических работ и СРС по дисциплине «Инженерная экология» для студентов всех форм обучения

Редактор  
Ответственный за выпуск

Подписано к печати . Формат  
Усл. печ. л. . Тираж экз. Заказ . Рег. № .

Отпечатано в РИО Рубцовского индустриального института.  
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6