

Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»

---

**Кафедра «Техносферная и экологическая безопасность»**

Методические указания  
к  
**ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ**

«Определение уровня загрязнения атмосферы по  
результатам анализа загрязнений атмосферы  
выбросами от котельной»

Санкт-Петербург  
2021

## Оглавление

1. РАСЧЁТ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ, ОТ КОТЕЛЬНЫХ.....	3
1.1. Порядок выполнения работы .....	7
2. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА. ....	8
2.1. Порядок выполнения работы.....	13
Приложение 1 .....	14
Библиографический список .....	17

**Цель работы:** расчет суммарной приземной концентрации загрязняющего вещества от группы источников расчетно-аналитическим методом; определение наибольшей концентрации каждого загрязняющего вещества в расчетных точках (на промышленной площадке, в селитебной зоне, на границе санитарно-защитной зоны); предложение мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ.

## 1. РАСЧЁТ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ, ОТ КОТЕЛЬНЫХ

При сжигании твёрдого топлива, мазута и газа в топках промышленных и коммунальных котлоагрегатов и бытовых теплогенераторов (малолитражных отопительных котлов, печей) в атмосферу поступают летучая зола с частицами недогоревшего топлива, оксиды серы, азота, углерода.

Расчёт выбросов твёрдых частиц, г/с, т/год, производится по формуле:

$$П_{ТВ} = B \cdot A^r \cdot \alpha \cdot (1 - \eta),$$

где  $B$  – расход топлива, г/с, т/год, соответственно;

$A^r$  – зольность топлива, %;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий зависимость доли золы топлива в уносе от содержания горючего в уносе;

$\eta$  – доля твёрдых частиц, улавливаемых в золоуловителе (при отсутствии очистки  $\eta = 0$ ).

Значения  $A^r$ ,  $\alpha$  принимаются по фактическим средним показателям, а при отсутствии этих данных по характеристикам сжигаемого топлива (табл. 1).

Расчёт выбросов оксидов серы (в пересчёте на  $SO_2$ ), т/год, т/ч, г/с, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегатов в единицу времени, выполняется по формуле:

$$П_{SO_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^r \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}),$$

где  $B$  – расход топлива, т/год, т/ч, г/с, соответственно;

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

$\eta'_{SO_2}$  – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива;

$\eta''_{\text{SO}_2}$  – доля улавливаемых в системах очистки оксидов серы (при отсутствии системы очистки принимается равной нулю).

Значения  $S^r$ ,  $\eta'_{\text{SO}_2}$  представлены в табл. 1.

Расчёт выбросов оксида углерода в единицу времени, т/год, г/с, выполняется по формуле:

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

где  $C_{\text{CO}}$  – выход оксида углерода при сжигании топлива;

$B$  – расход топлива, т/год, г/с, соответственно;

$q_4$  – потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания топлива, %.

$$C_{\text{CO}} = q_3 \cdot R \cdot Q_{\text{H}}^{\text{P}}$$

где  $q_3$  – потери теплоты вследствие химической неполноты, сгорания топлива, %;

$R$  – коэффициент потери теплоты от неполного сгорания топлива, %;

$Q_{\text{H}}^{\text{P}}$  – низшая теплота сгорания натурального топлива, МДж/кг.

Значения  $Q_{\text{H}}^{\text{P}}$ ,  $R$ ,  $q_3$  и  $q_4$  приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Характеристика различных видов топлива

Используемое топливо	$Q_{н}^p$ , МДж/ кг	$A^r$ , %	$S^r$ , %	Тип топки								$\eta_{SO_2}$	$K_{NO_2}$	$R$				
				1				2							3			
				неподвижная решётка		пневмомеханический заброс топлива		камерная топка		неподвижная решётка					пневмомеханический заброс топлива		камерная топка	
				$a$	$q_3$	$q_4$	$a$	$q_3$	$q_4$	$a$	$q_3$				$a$	$q_3$	$a$	$q_3$
Уголь:																		
Донецкий ДР	18,50	28,0	3,5	0,00232	2,0	7,0	0,0026	0,5	5,5	-	-	-	0,1	0,13	1,0			
Донецкий ДК	23,74	10,0	3,0	0,0023	2,0	7,0	0,0026	0,5	5,5	-	-	-	0,1	0,17	1,0			
Кузнецкий ОС	21,84	27,9	0,8	0,0023	2,0	7,0	0,0026	0,5	5,5	-	-	-	0,1	0,15	1,0			
Кузнецкий ДР	22,93	13,2	0,4	0,0023	2,0	7,0	0,0026	0,5	5,5	-	-	-	0,1	0,14	1,0			
Канско-Ачинский Б2	15,70	4,7	0,2	0,0023	2,0	7,0	0,0026	0,5	5,5	-	-	-	0,2	0,16	1,0			
Интауголь	17,54	31,0	3,2	0,0023	2,0	7,0	0,0026	0,5	5,5	-	-	-	0,1	0,15	1,0			

Количество оксидов азота (в пересчете на  $NO_2$ ), выбрасываемых в единицу времени, т/год, г/с, рассчитывается по формуле:

$$P_{NO_2} = 0,001 \cdot B \cdot Q_H^P \cdot K_{NO_2} \cdot (1 - \beta),$$

где  $B$  – расход топлива, т/год, г/с, соответственно;

$Q_H^P$  – теплота сгорания натурального топлива, МДж/кг;

$K_{NO_2}$  – параметр, характеризующий количество оксидов азота, образующихся на 1 ГДж тепла, кг/ГДж;

$\beta$  – коэффициент, учитывающий очистку выбросов (при отсутствии систем очистки принимается равным нулю).

Значения  $Q_H^P$ ,  $K_{NO_2}$  принимаются по табл. 1.

Исходные данные для расчёта и результаты расчёта заносятся в таблицу 2 по нижеприведённой форме.

Таблица 2

Исходные данные для расчёта									Результаты расчёта			
Топливо	Расход топлива $B$ , кг/ч	Тип топки (по табл.4)	$Q_H^P$ , МДж/кг	$A^r$ , %	$S^r$ , %	$\eta_{SO_2}$	$K_{NO_2}$	$R$	Выбросы загрязняющих веществ, г/с			
									твёрдые частицы	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO

Полученные по результатам расчётов данные о выбросах загрязняющих веществ используются для Расчёта уровня загрязнения атмосферы (в работе №2), по результатам которого делается вывод о допустимости рассчитанных выбросов загрязняющих веществ.

## 1.1. Порядок выполнения работы

2. Номер варианта выбирается по последним двум цифрам зачетной книжки, если цифры больше 50, надо вычесть из них 50 (Например, если цифры 67, то вариант  $67-50=17$ ) (**Приложение 1**);
3. Выбросы загрязняющих веществ ( $ТВ$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_2$ ), данные для расчета представлены в Таблице 1 согласно выбранному номеру варианта;
4. Исходные данные для расчёта и результаты расчёта заносятся в таблицу 2.

## 2. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА.

На рассеивание вредных веществ в атмосферном воздухе и загрязнение приземного слоя воздуха влияют метеорологические и географические факторы, а также факторы, характеризующие источники выбросов.

К метеорологическим факторам относятся скорость ветра; температура окружающего воздуха и характеристика её изменения по высоте от поверхности земли, называемая температурной стратификацией; влажность воздуха; барометрическое давление.

Кроме метеорологических, на рассеивание выбросов могут оказывать влияние топографические факторы, в частности рельеф местности. В условиях холмистого рельефа в низинах ветер ослабевает, ухудшая рассеивание.

К факторам, характеризующим источники выбросов, относятся: количество вредных веществ, содержащихся в выбросах; высота дымовой или вытяжной трубы; температура и скорость выхода газовой смеси из устья трубы; агрегатное состояние веществ, выбрасываемых в атмосферу.

Значение максимальной суммарной концентрации  $C_m$  (мг/м<sup>3</sup>) от  $N$  расположенных на площадке близко друг от друга одиночных источников, имеющих равные значения высоты, диаметра устья, скорости выхода в атмосферу и температуры газовой смеси, определяется по формуле:

$$C_i = \frac{A \cdot M_i \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2} \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{V \cdot \Delta T}} \quad (1)$$

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

$M$  – суммарная мощность выброса всеми источниками в атмосферу, г/с;

$F$  - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания ЗВ (газообразных и аэрозолей, включая твердые частицы) в атмосферном воздухе. Значения безразмерного коэффициента  $F$  принимаются:

для газообразных веществ ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ )  $F = 1$ ;

для твёрдых частиц  $F = 3$  (если нет очистки),  $F = 2$  (при очистке от пыли более 90%) и  $F = 2,5$  (при очистке от пыли 75 – 90 %);

$m$  и  $n$  - безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выброса из устья источника выброса;

$\eta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности;

$H$  - высота источника выброса, м;

$N$  - Число дымовых труб, шт;

$\Delta T$  – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси  $T_G$  и температурой атмосферного воздуха  $T_B$ , °C:

$$\Delta T = T_G - T_B.$$

$V$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) – суммарный расход выбрасываемой всеми источниками газовой смеси, определяемый по формуле:

$$V = V_1 \cdot N \quad (2)$$

где  $V_1$  – расход газовой смеси,  $\text{м}^3/\text{с}$ , определяемый по формуле:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \omega_0 \quad (3)$$

где  $D$  – диаметр устья источника, м;

$\omega_0$  – скорость выхода газовой смеси из устья источника, м/с.

Значения коэффициентов  $m$  и  $n$  определяются в зависимости от параметров  $f$ ,

$V_m$ ,  $V_m'$ ,  $f_c$  по формулам:

$$f = 1000 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (4)$$

$$V_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}, \quad (5)$$

$$V'_m = 1,3 \cdot \frac{\omega_0 \cdot D}{H}, \quad (6)$$

$$f_C = 800 \cdot (V'_m)^3. \quad (7)$$

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

$$m = \frac{f}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f < 100; \quad (8)$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f > 100. \quad (9)$$

Коэффициент  $n$  определяется в зависимости от  $V_m$  по формулам:

$$n = 1 \quad \text{при } V_m \geq 2; \quad (10)$$

$$n = 0,532 \cdot V_m^2 - 2,13 \cdot V_m + 3,13 \quad \text{при } 0,5 \leq V_m < 2; \quad (11)$$

$$n = 4,4 \cdot V_m \quad \text{при } V_m < 0,5. \quad (12)$$

Расстояние  $X_m$ , м, от источника выброса, на котором приземная концентрация  $C$ , мг/м<sup>3</sup>, при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения  $C_M$ , определяется по формуле:

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

где  $d$  – безразмерный коэффициент, вычисляется:

$F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания ЗВ (газообразных и аэрозолей, включая твердые частицы) в атмосферном воздухе. Значения безразмерного коэффициента  $F$  принимаются:

для газообразных веществ ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ )  $F = 1$ ;

для твёрдых частиц  $F = 3$  (если нет очистки),  $F = 2$  (при очистке от пыли более 90%) и  $F = 2,5$  (при очистке от пыли 75 – 90 %).

При  $f < 100$  значение  $d$  находится по формулам (формула для расчета выбирается в зависимости от значения  $V_m$ ):

$$d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_c}) \quad \text{при } V_m \leq 0,5; \quad (14)$$

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

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

Проверить, не происходит ли превышения допустимого содержания вредных компонентов в приземном слое атмосферы при условии, что некоторые компоненты подчиняются эффекту суммации действия, например оксида серы и оксида азота.

$$\frac{C_{m1}}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_{m2}}{\text{ПДК}_2} \leq 1 \quad (17)$$

или (без учёта эффекта суммации)

$$\frac{C_{mi}}{\text{ПДК}_i} < 1 \quad (18)$$

Здесь  $C_{m1}$ ,  $C_{m2}$  – концентрации вредных веществ, обладающих суммирующим действием ( $\text{SO}_2 + \text{NO}_2$ ).

$$\text{ПДК}_{\text{М.Р}} \text{ТВ} = 0,5 \text{ мг/м}^3$$

$$\text{ПДК}_{\text{М.Р}} \text{SO}_2 = 0,5 \text{ мг/м}^3.$$

$$\text{ПДК}_{\text{М.Р}} \text{NO}_2 = 0,085 \text{ мг/м}^3.$$

$$\text{ПДК}_{\text{М.Р}} \text{CO} = 5,0 \text{ мг/м}^3.$$

## **2.1. Порядок выполнения работы**

1. Номер варианта выбирается по последним двум цифрам зачетной книжки, если цифры больше 50, надо вычесть из них 50 (Например, если цифры 67, то вариант  $67-50=17$ ) (**Приложение 1**)
2. Определить перегрев газовой смеси  $\Delta T = T_{\Gamma} - T_{\text{В}}$ .
3. Определить суммарный расход выбрасываемой всеми источниками газовой смеси (2).
4. Определить расход газовой смеси по формуле (3).
5. По формулам (4) - (7) определить коэффициенты  $f$ ,  $V_m$ ,  $V'_m$  и  $f_c$ .
6. Рассчитать параметры  $m$  и  $n$  по формулам (8) - (12).
7. Найденные по формулам (2) - (12) значения параметров использовать для расчёта максимальной концентрации соответствующего загрязнителя  $C_{Mi}$  по формуле (1).
8. Определить расстояние  $X_m$  от источника выброса, на котором приземная концентрация загрязнителя достигает максимального значения – по формулам (13) - (16).
9. Проверить, не происходит ли превышения допустимого содержания вредных компонентов в приземном слое по формулам (17)-(18).
10. Если найденные по формулам (17) - (18) значения оказались больше единицы, т.е. значение концентрации какого-либо вещества (или группы веществ, в случае эффекта суммации) оказалось больше, чем ПДК, то предложить мероприятия по снижению выбросов соответствующих веществ.
11. Сделать вывод согласно цели работы: расчет суммарной приземной концентрации загрязняющего вещества от группы источников расчетно-аналитическим методом; определение наибольшей концентрации каждого загрязняющего вещества в расчетных точках (на промышленной площадке, в жилой зоне, на границе санитарно-защитной зоны); предложение мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ.

### Исходные данные

Объект расположен на ровной открытой местности, в Северо-Западном районе.

- Коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы,  $A = 160$  (для Санкт-Петербурга)
- Безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности,  $\eta = 1$ .
- Высота дымовых труб,  $H = 28$  м.
- Диаметр устья трубы,  $D = 2,4$  м.
- Скорость выхода газовой смеси,  $\omega_0 = 4,2$  м/с.
- Температура газовой смеси,  $T_2 = 345$  °С.
- Температура окружающего воздуха,  $T_6 = 21$  °С.
- Значения безразмерного коэффициента  $F$  принимаются:

для газообразных веществ ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ )  $F = 1$ ;

для твёрдых частиц  $F = 3$  (при отсутствии очистки отходящих газов),

Максимальные разовые предельно допустимые концентрации (ПДК м.р.):

ПДК м.р. тв =  $0,5$  мг/м<sup>3</sup>

ПДК м.р.  $\text{SO}_2$  =  $0,5$  мг/м<sup>3</sup>

ПДК м.р.  $\text{NO}_2$  =  $0,085$  мг/м<sup>3</sup>

ПДК м.р.  $\text{CO}$  =  $5,0$  мг/м<sup>3</sup>

<b>№ варианта</b>	<b>Топливо котельной</b>	<b>Расход топлива В кг/ч</b>	<b>Тип топки</b>	<b>Число дымовых труб, N</b>
1.	Донецкий ДР	900	неподвижная решетка	2
2.	Донецкий ДК	1000	неподвижная решетка	2
3.	Кузнецкий ОС	1100	неподвижная решетка	2
4.	Кузнецкий ДР	1200	неподвижная решетка	3
5.	Канско-Ачинский Б2	1300	неподвижная решетка	3
6.	Интауголь	1400	неподвижная решетка	3
7.	Донецкий ДР	1500	пневмомеханический заброс топлива	4
8.	Донецкий ДК	1600	пневмомеханический заброс топлива	4
9.	Кузнецкий ОС	1700	пневмомеханический заброс топлива	4
10.	Кузнецкий ДР	1800	пневмомеханический заброс топлива	2
11.	Канско-Ачинский Б2	1900	пневмомеханический заброс топлива	2
12.	Интауголь	2000	пневмомеханический заброс топлива	2
13.	Донецкий ДР	2050	неподвижная решетка	3
14.	Донецкий ДК	950	неподвижная решетка	3
15.	Кузнецкий ОС	1050	неподвижная решетка	3
16.	Кузнецкий ДР	1150	неподвижная решетка	4
17.	Канско-Ачинский Б2	1250	неподвижная решетка	4
18.	Интауголь	1350	неподвижная решетка	4
19.	Донецкий ДР	1450	неподвижная решетка	2
20.	Донецкий ДК	1550	пневмомеханический заброс топлива	2
21.	Кузнецкий ОС	1650	пневмомеханический заброс топлива	2
22.	Кузнецкий ДР	1750	пневмомеханический заброс топлива	3
23.	Канско-Ачинский Б2	1850	пневмомеханический заброс топлива	3
24.	Интауголь	1950	пневмомеханический заброс топлива	3
25.	Донецкий ДР	2050	пневмомеханический заброс топлива	4
26.	Донецкий ДК	900	неподвижная решетка	4
27.	Кузнецкий ОС	1000	неподвижная решетка	4
28.	Кузнецкий ДР	1100	неподвижная решетка	3

<b>№ варианта</b>	<b>Топливо котельной</b>	<b>Расход топлива В кг/ч</b>	<b>Тип топки</b>	<b>Число дымовых труб, N</b>
29.	Канско-Ачинский Б2	1200	неподвижная решетка	2
30.	Интауголь	1300	неподвижная решетка	4
31.	Донецкий ДР	1400	неподвижная решетка	2
32.	Донецкий ДК	1500	пневмомеханический заброс топлива	2
33.	Кузнецкий ОС	1600	пневмомеханический заброс топлива	2
34.	Кузнецкий ДР	1700	пневмомеханический заброс топлива	3
35.	Канско-Ачинский Б2	1800	пневмомеханический заброс топлива	3
36.	Интауголь	1900	пневмомеханический заброс топлива	3
37.	Донецкий ДР	2000	пневмомеханический заброс топлива	4
38.	Донецкий ДК	950	неподвижная решетка	4
39.	Кузнецкий ОС	1050	неподвижная решетка	4
40.	Кузнецкий ДР	1150	неподвижная решетка	2
41.	Канско-Ачинский Б2	1250	неподвижная решетка	2
42.	Интауголь	1350	неподвижная решетка	2
43.	Донецкий ДР	1450	неподвижная решетка	3
44.	Донецкий ДК	1550	пневмомеханический заброс топлива	4
45.	Кузнецкий ОС	1650	пневмомеханический заброс топлива	4
46.	Кузнецкий ДР	1750	пневмомеханический заброс топлива	4
47.	Канско-Ачинский Б2	1850	пневмомеханический заброс топлива	2
48.	Интауголь	1950	пневмомеханический заброс топлива	2
49.	Донецкий ДР	2050	пневмомеханический заброс топлива	2
50.	Донецкий ДК	900	пневмомеханический заброс топлива	2

## Библиографический список

1. Приказ Минприроды России от 6 июня 2017 года N 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе»;
2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» введен в действие Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ № 74 от 25 сентября 2007 года (с изменениями на 25 апреля 2014 года).