

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

---

**Кафедра «Техносферная и экологическая безопасность»**

# **РАСЧЁТНЫЕ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНАМ «ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ» И «ЭКОЛОГИЯ»**

**Методические указания**

Санкт-Петербург  
2017

## Практическая работа №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:

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

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  $\text{SO}_2$ ), т/год, т/ч, г/с, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегатов в единицу времени, выполняется по формуле:

$$P_{\text{SO}_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^r \cdot (1 - \eta'_{\text{SO}_2}) \cdot (1 - \eta''_{\text{SO}_2}),$$

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

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

$\eta'_{\text{SO}_2}$  – 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:

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

где  $C_{CO}$  – выход оксида углерода при сжигании топлива;  
 $B$  – расход топлива, т/год, г/с, соответственно;  
 $q_4$  – потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания топлива, %.

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q_H^P$$

где  $q_3$  – потери теплоты вследствие химической неполноты, сгорания топлива, %;  
 $R$  – коэффициент потери теплоты от неполного сгорания топлива, %;  
 $Q_H^P$  – низшая теплота сгорания натурального топлива, МДж/кг.  
Значения  $Q_H^P$ ,  $R$ ,  $q_3$  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											
				$a$	$q_3$	$q_4$	$a$	$q_3$	$q_4$				$a$	$q_3$					
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					
Мазут:																			
Сернистый	40,30	0,1	1,9	-	-	-	-	-	-	0,01	0,5	0,02	0,08	0,65					
Малосернистый		0,1	0,5	-	-	-	-	-	-	0,01	0,5	0,02	0,09	0,65					

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

$$\Pi_{\text{NO}_2} = 0,001 \cdot B \cdot Q_{\text{H}}^{\text{P}} \cdot K_{\text{NO}_2} \cdot (1 - \beta),$$

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

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

$K_{\text{NO}_2}$  – 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  $Q_{\text{H}}^{\text{P}}$ ,  $K_{\text{NO}_2}$  принимаются по табл. 1.

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

Исходные данные для расчёта									Результаты расчёта				
Топливо котельной	Расход топлива $B$ , кг/ч	Тип топки (по табл.4)	$Q_{\text{H}}^{\text{P}}$ , МДж/кг	$A^r$ , %	$S^r$ , %	$\eta_{\text{SO}_2}$	$K_{\text{NO}_2}$	$R$	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.

### Практическая работа №2

#### РАСЧЁТ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА ЗАГРЯЗНЕНИЙ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ОТ КОТЕЛЬНОЙ

Цель работы: расчёт концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы  $C_m$  при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника – котельной; определение расстояния  $X_m$  от источника выброса, при котором концентрация загрязняющих веществ достигает максимального значения; вывод о допустимости данных

выбросов с сопоставлением значения приземных концентраций веществ  $C_M$  с их предельно допустимой концентрацией (ПДК).

Во избежание токсичного и других неблагоприятных воздействий вредных веществ на организм человека допустимое их содержание в воздухе нормируется. В нашей стране действует система санитарно-гигиенического нормирования, основанная на установлении предельно допустимых концентраций (ПДК) в атмосферном воздухе. Они подразделяется на 2 вида: ПДК<sub>М.Р</sub> (предельно допустимая концентрация максимально разовая) и ПДК<sub>С.С</sub> (предельно допустимая концентрация среднесуточная).

ПДК<sub>М.Р</sub>, мг/м<sup>3</sup>, – такая концентрация загрязняющего вещества в воздухе населённых мест, которая не вызывает рефлекторных реакций в организме человека при коротком (20-30 мин) воздействии.

ПДК<sub>С.С</sub>, мг/м<sup>3</sup>, – такая концентрация загрязняющего вещества которая не вызывает рефлекторных изменений в организме человека в течение длительного (до 70 лет) круглосуточного вдыхания.

Уровень загрязнения атмосферы зависит не только от концентрации вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, но и от количества загрязняющего вещества, поступающего в атмосферу от источника выброса в единицу времени (выброса загрязняющего вещества). Норма предельно допустимого выброса (ПДВ) представляет собой количество вредных веществ, которое не разрешается превышать при выбросе их в атмосферу в единицу времени. Величину ПДВ нормируют для каждого источника загрязнения атмосферы при условии, что выбросы вредных веществ данным источником и совокупностью других с учётом рассеивания этих веществ в атмосфере не создадут приземных концентраций, превышающих ПДК. Таким образом, ПДВ устанавливается из условия:

$$\sum C / \text{ПДК} \leq 1,$$

где  $\sum C$  – суммарная расчётная концентрация вредного вещества в приземном слое воздуха от нескольких источников выбросов, мг/м<sup>3</sup>.

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 географические 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.

Максимальное значение приземной концентрации загрязняющего вещества  $C_{Mi}$ , мг/м<sup>3</sup>, при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника с круглым сечением определяется по формуле:

$$C_{Mi} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (1)$$

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

$M$  – масса каждого из вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу данным источником, г/с;

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

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

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

$H$  – высота источника выброса над уровнем земли, м;

$\Delta T$  – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси  $T_Г$  и температурой атмосферного воздуха  $T_В$ ;

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

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

где  $D$  – диаметр устья источника, м;

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

Значения мощности выброса  $M$ , г/с, в формуле (1) берутся для каждого из четырех выбрасываемых из котельной веществ. Рассчитываются 4 значения  $C_{Mi}$ :  $C_{MSO_2}$ ,  $C_{MTB}$ ,  $C_{MNO_2}$ ,  $C_{MCO}$ .

При определении  $T$ , °С, следует принимать температуру окружающего атмосферного воздуха  $T_В$ , °С, равной средней температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца года:

$$\Delta T = T_{\Gamma} - T_{\text{В}}.$$

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 %).

Значения коэффициентов  $m$  и  $n$  определяются в зависимости от параметров  $f$ ,  $V_m$ ,  $V'_m$ ,  $f_c$  по формулам:

$$f = 1000 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (3)$$

$$V_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}, \quad (4)$$

$$V'_m = 1,3 \cdot \frac{\omega_0 \cdot D}{H}, \quad (5)$$

$$f_c = 800 \cdot (V'_m)^3. \quad (6)$$

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

$$m = \frac{f}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f < 100; \quad (7)$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f > 100. \quad (8)$$

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

$$n = 1 \quad \text{при } V_m \geq 2; \quad (9)$$

$$n = 0,532 \cdot V_m^2 - 2,13 \cdot V_m + 3,13 \quad \text{при } 0,5 \leq V_m < 2; \quad (10)$$

$$n = 4,4 \cdot V_m \quad \text{при } V_m < 0,5. \quad (11)$$

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:

$$X_m = \frac{5 - F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (12)$$

где  $d$  – безразмерный коэффициент.

$$d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_c}) \quad \text{при } V_m \leq 0,5; \quad (13)$$

$$d = 4,95 \cdot V_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_c}) \quad \text{при } 0,5 < V_m < 2; \quad (14)$$

$$d = 7 \cdot \sqrt{V_m} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_c}) \quad \text{при } V_m > 2. \quad (15)$$

#### Порядок выполнения работы

Расчёт уровня загрязнения атмосферы выбросами от котельной выполняется в следующей последовательности.

1. Определить перегрев газовой смеси  $\Delta T = T_{\Gamma} - T_{\text{В}}$ .
2. Определить расход газовой смеси по формуле (2).
3. По формулам (3) - (6) определить коэффициенты  $f$ ,  $V_m$ ,  $V_m$  и  $f_c$ .
4. Рассчитать параметры  $m$  и  $n$  по формулам (7) - (11).
5. Найденные по формулам (2) - (11) значения параметров использовать для расчёта максимальной концентрации соответствующего загрязнителя  $C_{Mi}$  по формуле (1).
6. Определить расстояние  $X_m$  от источника выброса, на котором приземная концентрация загрязнителя достигает максимального значения, – по формулам (12) - (15).
7. 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.

$$\frac{C_{m1}}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_{m2}}{\text{ПДК}_2} \leq 1 \quad (16)$$

или (без учёта эффекта суммации)

$$\frac{C_{mi}}{ПДК_i} < 1 \quad (17)$$

Здесь  $C_{m1}$ ,  $C_{m2}$  – концентрации вредных веществ, обладающих суммирующим действием ( $SO_2 + NO_2$ ).

Значения ПДК<sub>М.Р</sub> загрязняющих веществ от котельной следующие:

ПДК<sub>М.Р</sub> твёрдых частиц при использовании в качестве топлива угля равна 0,5 мг/м<sup>3</sup>;

при использовании в качестве топлива мазута ПДК<sub>М.Р</sub> = 0,15 мг/м<sup>3</sup>.

ПДК<sub>М.Р</sub>  $SO_2$  = 0,5 мг/м<sup>3</sup>.

ПДК<sub>М.Р</sub>  $NO_2$  = 0,085 мг/м<sup>3</sup>.

ПДК<sub>М.Р</sub>  $CO$  = 5,0 мг/м<sup>3</sup>.

8. Исходные данные для расчёта и результаты расчёта занести в таблицу по нижеприведённой форме.

Исходные данные для расчёта							Результаты расчёта				
$D_{тр}$ , м	H, м	$\omega$ , м/с	$T_{г}$ , °C	$T_{в}$ , °C	A	$\eta$	$C_m$ тв.част.	$C_m$ $SO_2$	$C_m$ $NO_2$	$C_m$ $CO$	$X_m$

9. Если найденные по формулам (16) - (17) 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.