

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Кафедра «Техносферная и экологическая безопасность»

А.А. Гаврилова

ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ ЭКОЛОГИЯ

Лабораторная работа №1

Учебное пособие

Санкт-Петербург
ПГУПС
2024

УДК
ББК

Инженерная экология, экология (Лабораторная работа №1): учебное пособие. – СПб.: ФГБОУ ВО Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2024. – 15 с.

Материал, представленный в учебном пособии дает представление об экологии как о науке, синтетически объединяющей достижения различных отраслей естествознания, определяющей подход к комплексному исследованию закономерностей происходящих в окружающей среде, об основных видах антропогенного воздействия и экологических проблемах современности; обоснование проведения контрольно-нормативных мероприятий, используемых при оценке воздействия объектов различного назначения на окружающую среду

Преподавание экологических дисциплин для инженерно-технических специалистов должно отвечать современным требованиям и основываться на принципах развития науки и техники, обеспечивающих максимальную гармонизацию двух сред жизни и деятельности человека – биосферы и техносферы, а также учитывать особенности преподавания экологических дисциплин в высшем техническом учебном заведении, научный подход и склад мышления инженеров.

Учебное пособие предназначено для студентов всех специальностей и направлений заочной формы обучения.

УДК
ББК

© Гаврилова А.А., 2024
© Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I, 2024

Оглавление

1. Расчёт выбросов загрязняющих веществ от котельных	4
1.1. Порядок выполнения работы	4
2. Расчет основных параметров выбросов загрязняющих веществ от промышленного объекта.	8
2.1. Порядок выполнения работы	8
Приложение 1 (исходные данные)	12
Библиографический список	15

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); определение расстояний от источников выброса, на которых приземные концентрации загрязнителей достигают максимального значения; предложение мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ.

1. РАСЧЁТ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ КОТЕЛЬНЫХ

1.1. 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. Перевести B - расход топлива из т/сут в г/с;
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;
5. Все полученные значения округлить до 3х знаков после запятой.

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 **т в ё р д ы х ч а с т и ц**, г/с, производится по формуле:

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

где B – расход топлива, г/с (**Приложение 1** (исходные данные));

A^r – зольность топлива, %;

α – коэффициент, учитывающий зависимость доли золы топлива в уносе от содержания горючего в уносе;

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

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

Расчёт выбросов **о к с и д о в с е р ы** (в пересчёте на SO_2), г/с, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегатов в единицу времени, выполняется по формуле:

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

где B – расход топлива, г/с (Приложение 1 (исходные данные));
 S^r – содержание серы в топливе, %;
 η'_{SO_2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива;
 η''_{SO_2} – доля улавливаемых в системах очистки оксидов серы (при отсутствии системы очистки принимается равной нулю).
 Значения S^r, η'_{SO_2} представлены в табл. 1.

Расчёт выбросов **о к с и д а у г л е р о д а** в единицу времени, 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_{CO} – выход оксида углерода при сжигании топлива;
 B – расход топлива, г/с (Приложение 1 (исходные данные)) ;
 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_{H}^{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

Используемое топливо	Q_H^p МДж/кг г	A^r , %	S^r , %	Тип топки						η'_{SO_2}	K_{NO_2}	R
				неподвижная решётка			пневмомеханический заброс топлива					
				α	q_3	q_4	α	q_3	q_4			
Донецкий ДР	18,50	28,0	3,5	0,0023	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 **о к с и д о в а з о т а** (в пересчете на NO₂), выбрасываемых в единицу времени, 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, г/с (Приложение 1 (исходные данные));

Q_{H}^{p} – теплота сгорания натурального топлива, МДж/кг;

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

β – 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 , т/сут	Тип топки (по табл.1)	Q_{H}^{p} , МДж/кг	A^r , %	S^r , %	η'_{SO_2}	K_{NO_2}	R	Выбросы загрязняющих веществ (Π_i), г/с			
									твёрдые частицы	SO ₂	CO	NO ₂

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

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

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. Все полученные значения округлить до 3х знаков после запятой.
3. Определить перегрев газовой смеси $\Delta T = T_{\Gamma} - T_{\text{В}}$.
4. Определить суммарный расход выбрасываемой всеми источниками газовой смеси (2).
5. Определить расход газовой смеси по формуле (3).
6. По формулам (4) - (7) определить коэффициенты f , V_m , V'_m и f_c .
7. Рассчитать параметры m и n по формулам (8) - (12).
8. Найденные по формулам (2) - (12) значения параметров использовать для расчёта максимальной концентрации соответствующего загрязнителя C_{Mi} по формуле (1).
9. Определить расстояние X_m от источника выброса, на котором приземная концентрация загрязнителя достигает максимального значения – по формулам (13) - (16).
10. Проверить, не происходит ли превышения допустимого содержания вредных компонентов в приземном слое по формулам (17)-(18).
11. Сделать вывод на основании цели работы и согласно полученным результатам по п.9. 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 конкретные мероприятия (аппараты) по снижению выбросов соответствующих веществ.

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 газовойдушной смеси из устья трубы; агрегатное состояние веществ, выбрасываемых в атмосферу.

Значение максимальной суммарной концентрации C_m (мг/м³) от N расположенных на площадке близко друг от друга одиночных источников, имеющих равные значения высоты, диаметра устья, скорости выхода в атмосферу и температуры газовойдушной 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 (Приложение 1 (исходные данные));

M – суммарная мощность выброса всеми источниками в атмосферу, г/с (Π_i);

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

- для газообразных веществ (SO_2 , NO_2 , 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;

η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (Приложение 1 (исходные данные));

H – высота источника выброса, м (Приложение 1 (исходные данные));

N – число дымовых труб, шт (Приложение 1 (исходные данные));

ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовойдушной смеси T_Γ и температурой атмосферного воздуха T_B , °С (Приложение 1 (исходные данные));

$$\Delta T = T_\Gamma - T_B$$

V (м³/с) – суммарный расход выбрасываемой всеми источниками газовойдушной смеси, определяемый по формуле:

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

где V_1 – расход газовойдушной смеси, м³/с, определяемый по формуле:

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

где D – диаметр устья источника, м (Приложение 1 (исходные данные));

ω_0 – скорость выхода газовойдушной смеси из устья источника, м/с (Приложение 1 (исходные данные)).

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:

$$m = \frac{f}{0,65 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f < 100; \quad (8)$$

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

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/м³, 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 (SO_2 , NO_2 , 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)

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

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

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

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

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

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

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, $H = 85$ м.
- Диаметр устья трубы, $D = 3,9$ м.
- Скорость выхода газовой смеси, $\omega_0 = 6,0$ м/с.
- Температура газовой смеси, $T_z = 355$ °C.
- Температура окружающего воздуха, $T_g = 21$ °C.
- Значения безразмерного коэффициента F принимаются:

для газообразных веществ (SO_2 , NO_2 , CO) $F = 1$;

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

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

$$\text{ПДК м.р.}_{\text{тв}} = 0,5 \text{ мг/м}^3$$

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

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

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

№ варианта	Топливо котельной	Расход топлива В, т/сут	Тип топки	Число дымовых труб, N, шт
1.	Донецкий ДР	4000	неподвижная решетка	2
2.	Донецкий ДК	5000	неподвижная решетка	2
3.	Кузнецкий ОС	6000	неподвижная решетка	2
4.	Кузнецкий ДР	7000	неподвижная решетка	3
5.	Канско-Ачинский Б2	8000	неподвижная решетка	3
6.	Интауголь	9000	неподвижная решетка	3
7.	Донецкий ДР	4500	пневмомеханический заброс топлива	4
8.	Донецкий ДК	5500	пневмомеханический заброс топлива	4
9.	Кузнецкий ОС	6500	пневмомеханический заброс топлива	4
10.	Кузнецкий ДР	7500	пневмомеханический заброс топлива	2
11.	Канско-Ачинский Б2	8500	пневмомеханический заброс топлива	2
12.	Интауголь	9500	пневмомеханический заброс топлива	2
13.	Донецкий ДР	4200	неподвижная решетка	3
14.	Донецкий ДК	5200	неподвижная решетка	3
15.	Кузнецкий ОС	6200	неподвижная решетка	3
16.	Кузнецкий ДР	7200	неподвижная решетка	4
17.	Канско-Ачинский Б2	8200	неподвижная решетка	4
18.	Интауголь	9200	неподвижная решетка	4
19.	Донецкий ДР	3800	неподвижная решетка	2
20.	Донецкий ДК	4800	пневмомеханический заброс топлива	2
21.	Кузнецкий ОС	5800	пневмомеханический заброс топлива	2
22.	Кузнецкий ДР	6800	пневмомеханический заброс топлива	3
23.	Канско-Ачинский Б2	7800	пневмомеханический заброс топлива	3
24.	Интауголь	8800	пневмомеханический заброс топлива	3
25.	Донецкий ДР	9800	пневмомеханический заброс топлива	4
26.	Донецкий ДК	4300	неподвижная решетка	4
27.	Кузнецкий ОС	5300	неподвижная решетка	4
28.	Кузнецкий ДР	6300	неподвижная решетка	3

№ варианта	Топливо котельной	Расход топлива В, т/сут	Тип топки	Число дымовых труб, N, шт
29.	Канско-Ачинский Б2	7300	неподвижная решетка	2
30.	Интауголь	8300	неподвижная решетка	4
31.	Донецкий ДР	9300	неподвижная решетка	2
32.	Донецкий ДК	4400	пневмомеханический заброс топлива	2
33.	Кузнецкий ОС	5400	пневмомеханический заброс топлива	2
34.	Кузнецкий ДР	6400	пневмомеханический заброс топлива	3
35.	Канско-Ачинский Б2	7400	пневмомеханический заброс топлива	3
36.	Интауголь	8400	пневмомеханический заброс топлива	3
37.	Донецкий ДР	9400	пневмомеханический заброс топлива	4
38.	Донецкий ДК	4100	неподвижная решетка	4
39.	Кузнецкий ОС	5100	неподвижная решетка	4
40.	Кузнецкий ДР	6100	неподвижная решетка	2
41.	Канско-Ачинский Б2	7100	неподвижная решетка	2
42.	Интауголь	8100	неподвижная решетка	2
43.	Донецкий ДР	9100	неподвижная решетка	3
44.	Донецкий ДК	4100	пневмомеханический заброс топлива	4
45.	Кузнецкий ОС	4100	пневмомеханический заброс топлива	4
46.	Кузнецкий ДР	5100	пневмомеханический заброс топлива	4
47.	Канско-Ачинский Б2	6100	пневмомеханический заброс топлива	2
48.	Интауголь	7100	пневмомеханический заброс топлива	2
49.	Донецкий ДР	8100	пневмомеханический заброс топлива	2
50.	Донецкий ДК	9100	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).