

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

Кафедра «Теплотехника и теплосиловые установки»

РАСЧЕТ ВЫСОТЫ ДЫМОВЫХ ТРУБ ОТОПИТЕЛЬНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОТЕЛЬНЫХ

Методические указания
к курсовой работе для студентов специальностей
„Промышленная теплоэнергетика“
и „Инженерная защита окружающей среды“

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ПГУПС
2010

Задание на курсовую работу

Рассчитать выбросы вредных веществ и минимальную высоту дымовой трубы производственно-отопительной котельной, в которой работают от двух до шести паровых котлов ($n = 2 \dots 6$).

Очистка дымовых газов в котельной осуществляется с помощью золоуловителя со степенью очистки η . Расчет выбросов вредных веществ выполнить в двух вариантах: без золоуловителя и с ним.

Оценить уменьшение выбросов вредных веществ, связанных с применением золоуловителя. Используя данные последнего варианта, выполнить расчет высоты дымовой трубы котельной.

Студент выбирает в соответствии со своим шифром все необходимые данные из соответствующих табл. 1 и 2 приложения.

Указания по выполнению курсовой работы

Перед выполнением курсовой работы необходимо ознакомиться с разделом «Охрана атмосферы» из библиографического списка [1–8]. Условия задания должны быть переписаны в пояснительную записку.

Пояснительная записка выполняется на листах писчей бумаги размером 297×210 мм (на одной стороне листа) и должна удовлетворять требованиям ГОСТ 2.106–68 «Текстовые документы». Листы пояснительной записки нумеруют, в конце записки помещается список использованной студентом литературы.

При выполнении задания необходимо полностью записывать формулы и производить расчеты в развернутом виде, используя единицы измерений системы СИ. При использовании таблиц, графиков, номограмм, эмпирических формул и других справочных материалов надо делать ссылку на литературный источник, указывающий, откуда эти данные взяты.

Расчет рассеивания вредных примесей и оптимальной высоты дымовой трубы ведется в последовательности, рекомендованной в разд. 3 настоящих указаний. Расчет заканчивается при выполнении условий (1.1) и (1.3).

После завершения расчетов выполняется чертеж дымовой трубы в формате А2 в соответствующем масштабе и с указанием основных конструктивных размеров.

1 Общие положения

Загрязнение воздушной среды котельными установками связано с выбросами в дымовую трубу токсичных газов SO_2 и SO_3 , мелкодисперсной золы и сажи, которые образуются при горении топлива. Кроме того, при высокотемпературных процессах горения топлива происходит окисление азота с образованием оксидов NO и NO_2 . При неполном сгорании топлива в дымовых газах появляется оксид углерода CO и метан CH_4 , а также и другие углеводороды.

В современных производственных и отопительных котельных установках дымовая труба служит в первую очередь не для создания тяги, а для отвода продуктов сгорания на определенную высоту, при которой обеспечивается рассеивание вредных веществ до допустимых санитарными нормами концентраций в зоне нахождения людей.

Основными критериями оценки качества воздуха являются предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе, значения которых устанавливаются для каждого загрязняющего вещества в зависимости по двум показателям: максимальным разовым за 20 минут и среднесуточным за 24 часа (см. приложение, табл. 3). Концентрации рассчитываются по каждому вредному веществу в отдельности при условии, когда наибольшая концентрация вредного вещества C_m в приземном слое атмосферы, $\text{мг}/\text{м}^3$, не превышает максимально разовой ПДК данного вредного вещества:

$$C_m \leq \text{ПДК}_{\text{макс}} \quad (1.1)$$

Максимальную приземную концентрацию вредных веществ C_m , $\text{мг}/\text{м}^3$, при выбросах нагретых газов из дымовой трубы рассчитывают в соответствии с [2] по формуле

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot z}{H^2 \sqrt{V_r \cdot \Delta T}} \quad (1.2)$$

где A — коэффициент, зависящий от метеорологических условий местности, составляет, $\text{с}^{2/3} \cdot \text{мг} \cdot \text{К}^{1/3}/\text{г}$:

$A = 140$ — для Московской, Тульской, Рязанской областей;

$A = 160$ — для Северо-Западного региона и Урала севернее 52° с. ш.;

$A = 180$ — для Европейской территории России и Урала от 50 до 52° с. ш.;

$A = 200$ — для районов Дальнего Востока и Сибири;

$A = 250$ — для районов Бурятии и Читинской области;

z — безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (обычно принимают $z = 1$);

M — количество вредного вещества, выбрасываемого в воздух, $\text{г}/\text{с}$;

F — безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосфере ($F = 1$ — для газообразных веществ; $F = 2 \dots 3$ — для твердых частиц);

H — высота трубы над уровнем земли, м ;

$\Delta T = T_r - t_0$ — разность температур уходящих газов и окружающего воздуха, К ;

V_r — объем дымовых газов, выходящих из дымовой трубы, $\text{м}^3/\text{с}$;

m и n — безразмерные коэффициенты, зависящие от условий истечения дымовых газов из устья трубы.

При одновременном воздействии нескольких вредных веществ, обладающих суммирующим действием, их безразмерная суммарная концентрация q не должна превышать значений $q \leq 1$. Суммарное воздействие на атмосферу оказывают оксиды серы и азота, поэтому их безразмерную концентрацию определяют исходя из выражения:

$$q = \frac{C_{\text{NO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2}} + \frac{C_{\text{SO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{SO}_2}} \leq 1 \quad (1.3)$$

2 Расчет выбросов вредных веществ

Для расчета выбросов токсичных веществ используют специальные расчетные формулы, где основным показателем является выброс того или иного вредного вещества в единицу времени M , $\text{г}/\text{с}$ [3].

Зола. Выброс летучей золы, $\text{г}/\text{с}$, при сжигании в котле угля или мазута можно определить по формуле

$$M_{\text{зола}} = n \cdot B_r \cdot A^p \cdot x(1 - \eta_{\text{г}}) \quad (2.1)$$

где B_r — расход топлива, $\text{г}/\text{с}$;

n — число котлоагрегатов;

$\eta_{\text{г}} = 0,9 \dots 0,97$ — КПД золоуловителя;

A^p — содержание золы в рабочей массе топлива, %;

x — коэффициент, характеризующий долю золы топлива в уносе с дымовыми газами (принимают по табл. 1 приложения).

Наибольшую зольность имеют сланцы и бурные угли. Жидкое топливо имеет малую степень зольности. Природный газ — беззольное топливо.

Оксиды серы. Основное количество серы (до 99 %) сгорает до SO_2 , поэтому выброс ее в атмосферу определяют по диоксиду серы в $\text{г}/\text{с}$:

$$M_{\text{SO}_2} = 2nB_r \frac{S^p}{100} (1 - \eta'_{\text{SO}_2})(1 - \eta''_{\text{SO}_2}) \quad (2.2)$$

где 2 — коэффициент, учитывающий отношение молекулярных масс;

$\text{SO}_2/S = 64/32 = 2$;

S^p — содержание серы в рабочей массе топлива, %;

B_r — расход топлива, $\text{г}/\text{с}$;

η'_{SO_2} — доля оксидов серы, улавливаемых золой в газоходах котла;

η''_{SO_2} — доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителях;

n — число котлоагрегатов.

Для оксидов серы, улавливаемых летучей золой в газоходах, можно применять значения η'_{SO_2} исходя от вида топлива:

для торфа — $\eta'_{\text{SO}_2} = 0,15$;

для углей — $\eta'_{\text{SO}_2} = 0,1$;

для мазута — $\eta'_{\text{SO}_2} = 0,02$;

для газа — $\eta'_{\text{SO}_2} = 0$.

В сухих золоуловителях (циклонах) оксиды серы практически не улавливаются ($\eta'_{\text{SO}_2} = 0$).

В мокрых золоуловителях с нейтральной водой степень улавливания оксидов серы составляет $\eta'_{\text{SO}_2} = 0,015$, а со щелочной водой $\eta'_{\text{SO}_2} = 0,02 \dots 0,03$.

Оксиды углерода. Для расчета выбросов оксида углерода, $\text{г}/\text{с}$, используют следующую формулу:

$$M_{\text{CO}} = 0,001nB_r Q_{\text{н}}^p K_{\text{CO}} (1 - \frac{q_4}{100}) \quad (2.3)$$

где $Q_{\text{н}}^p$ — низшая теплота сгорания топлива, $\text{МДж}/\text{кг}$;

q_4 — потери теплоты с механическим недожогом, % (принимают по табл. 1 приложения);

K_{CO} — параметр, характеризующий количество оксидов углерода, кг, образующихся на единицу теплоты в 1 ГДж , выделяющейся при горении топлива, $\text{кг}/\text{ГДж}$ (принимают по табл. 1 приложения).

Оксиды азота. Количество оксидов азота (в пересчете на NO_2), выбрасываемых в единицу времени, $\text{г}/\text{с}$, рассчитывают по формуле

$$M_{\text{NO}_2} = 0,001nB_r Q_{\text{н}}^p K_{\text{NO}_2} (1 - \beta) \quad (2.4)$$

где K_{NO_2} — параметр, характеризующий количество оксидов азота, образующихся на 1 ГДж теплоты, $\text{кг}/\text{ГДж}$ (принимают по табл. 1 приложения);

β — коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов оксидов азота в результате применения технических средств:

$\beta = 0,05$ — в случае применения технических средств;

$\beta = 0$ — при их отсутствии.

Оксиды ванадия. Расчет выбросов оксидов ванадия в пересчете на пентаксид (V_2O_5) ванадия, $\text{г}/\text{с}$, выполняют для котлов, сжигающих жидкое топливо, используя следующую формулу:

$$M_{\text{V}_2\text{O}_5} = n10^{-6} G_{\text{V}_2\text{O}_5} B_r (1 - \eta_{\text{в}})(1 - \eta_{\text{г}}) \quad (2.5)$$

где $G_{\text{V}_2\text{O}_5}$ — содержание оксидов ванадия в жидком топливе в пересчете на V_2O_5 , $\text{г}/\text{т}$;

$\eta_{\text{в}}$ — коэффициент оседания оксидов ванадия на поверхности нагрева котлов;

$\eta_{\text{в}} = 0,07$ — для котлов с промежуточным перегревом пара;

$\eta_{\text{в}} = 0,05$ — для котлов без промежуточного перегрева пара;

$\eta_{\text{в}} = 0$ — для всех остальных случаев;

$\eta_{\text{г}}$ — доля твердых частиц, улавливаемых в устройствах очистки газов.

При отсутствии результатов анализа топлива содержание оксидов ванадия $G_{\text{V}_2\text{O}_5}$, $\text{г}/\text{т}$, в мазуте с $S^p \geq 0,4$ % определяют ориентировочно по формуле

$$G_{\text{V}_2\text{O}_5} = 95,4S^p - 31,6 \quad (2.6)$$

где S^p — содержание серы в мазуте, %.

3 Расчет рассеивания вредных примесей и выбор высоты дымовой трубы

Цель расчета состоит в определении минимальной (оптимальной) высоты дымовой трубы, обеспечивающей рассеивание вредных веществ менее уровня предельно допустимых концентраций.

Определять минимальную высоту трубы рекомендуется в изложенной ниже последовательности:

1. Определяют теоретический объем дымовых газов, $\text{м}^3/\text{кг}$, выделяющихся в топке котла при сгорании 1 кг топлива:

$$V_r^0 = V_{\text{RO}_2}^0 + V_{\text{N}_2}^0 + V_{\text{H}_2\text{O}}^0 \quad (3.1)$$

Если условие сходимости (3.10)

$$\left| \frac{H_2 - H_1}{H_2} \right| \cdot 100 \leq 5\%$$

соблюдается, то переходят к выполнению следующих расчетов.

11. При высоте дымовой трубы H_1 , которая удовлетворяет условию (3.10), определяют максимальные приземные концентрации каждого вредного вещества, mg/m^3 :

$$C_i = \frac{A \cdot M_i \cdot F \cdot m_i \cdot n_i}{H_1^2 \sqrt{V_r \Delta T}} \quad (3.12)$$

12. Проверяют условия, при которых все рассчитанные концентрации вредных веществ C_i не превышают допустимых значений ПДК, а безразмерная концентрация $q \leq 1$:

$$C_i < \text{ПДК}_i, \quad q = \frac{C_{\text{SO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{SO}_2}} + \frac{C_{\text{NO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2}} \leq 1. \quad (3.13)$$

Если указанные условия не соблюдаются, следует увеличить высоту дымовой трубы, при которой безразмерная концентрация q будет меньше или равна единице, а концентрации вредных веществ C_i не превысят допустимых норм, указанных в табл. 3 приложения.

13. Для каждого вредного вещества выполняют расчет предельно допустимого выброса, $г/с$:

$$\text{ПДВ} = \frac{\text{ПДК}_i \cdot H_1^2 \sqrt{V_r \Delta T}}{A \cdot M_i \cdot F \cdot m_i \cdot n_i \cdot Z}, \quad (3.14)$$

где H_1 — высота дымовой трубы, м, принятая в соответствии со СНиП П-35-76.

4 Конструкция дымовых труб

Дымовые трубы выполняют кирпичными, железобетонными или стальными.

Если высота трубы не превышает 30 м и в котельной сжигают топливо с малым содержанием серы, то следует устанавливать стальные трубы. При $H = 30 \dots 60$ м дымовые трубы делают из кирпича, а при $H > 60$ м устанавливают железобетонные дымовые трубы. В соответствии со СНиП П-35-76 «Котельные установки» следует выбрать дымовую трубу из кирпича или железобетона из следующего ряда высот: 30, 45, 60, 75, 90, 120, 150 и

180 м, округляя полученное расчетное значение высоты трубы до ближайшего значения большей величины, указанной в СНиП П-35-76. Диаметр устья труб должен быть принят следующим: $d_y = 1,2; 1,5; 1,8; 2,1; 2,4; 3,0; 3,6; 4,2; 4,8; 5,4; 6,0; 6,6; 7,2; 8,4; 9,0$ и 9,6 м.

Минимальный диаметр выходных отверстий кирпичных труб составляет 1,2 м, а монолитных железобетонных — 3,6 м.

Стальные дымовые трубы делают обычно цилиндрическими и устанавливают на кирпичном фундаменте с доколом.

Дымовые трубы из кирпича и железобетона выполняют из поясов различной толщины с постепенным уменьшением ее сверху.

Газоотводящий ствол трубы имеет обычно уклон 0,01 по отношению к вертикали. Следовательно, внутренний диаметр дымовой трубы и ее основания можно определить с помощью формулы, м:

$$d_a = d_y + 2(0,01 \cdot H), \quad (4.1)$$

где d_y — диаметр устья трубы, м;

H — высота дымовой трубы, м.

Наружный ствол трубы для увеличения устойчивости выполняют с уклоном $u = 0,02 \dots 0,03$ по отношению к вертикали. Выбирая соответствующий уклон, наружный диаметр дымовой трубы у ее основания, м, находят:

$$D_0 = d_y + 2uH. \quad (4.2)$$

Нижнюю часть трубы высотой 1/5-1/7 от общей высоты трубы обычно выполняют в виде цилиндрического покоя с диаметром D_0 .

Футеровку из кислотоупорного кирпича выполняют для железобетонных труб по всей высоте газоотводящего ствола, а для кирпичных труб — не выше 1/3 высоты трубы.

При введении в дымовую трубу нескольких боровов необходимо выкладывать в ней направляющие перегородки — так называемые расчески.

У основания дымовой трубы должно быть предусмотрено устройство для удаления золы. Лазы для удаления золы должны быть хорошо уплотнены.

Трубы большой высоты окрашивают снаружи полосами красного цвета шириной 2 или 2,5 м с интервалами по высоте 15 м, а также снабжают светоотражательными огнями, располагаемыми через 15 или 30 м, и системой грозозащиты.

Обслуживание труб осуществляют с помощью ходовых лестниц, имеющих ограждения и смотровые площадки через каждые 15 м.

Библиографический список

1. Штокман Е. А. Очистка воздуха: Учеб. пособие / Е. А. Штокман. — М.: АСВ, 1999. — 320 с.
2. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. — Л.: Гидрометеоиздат, 1987. — 93 с.
3. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. — Л.: Гидрометеоиздат, 1986. — 183 с.
4. Белов С. В. и др. Охрана окружающей среды: Учеб. для вузов / С. В. Белов и др. — М.: Высшая школа, 1991. — 319 с.
5. Залогин Н. Г. и др. Энергетика и охрана окружающей среды / Н. Г. Залогин и др. — М.: Энергия, 1979. — 352 с.
6. Охрана окружающей среды: Справочник / Сост. Л. П. Шариков. — Л.: Судостроение, 1978. — 560 с.
7. Рихтер Л. А. и др. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций / Л. А. Рихтер и др. — М.: Энергоиздат, 1981. — 296 с.
8. Роддатис К. Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности / К. Ф. Роддатис, А. Н. Полтавский. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 489 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ Таблица 1

№ пп.	Наименование параметров	Тип котельной									
		KE-2,5-14C	KE-4-ИС	KE-6,5-14C	KE-6,5-14MT	KE-10-14C	KE-10-14MT	KE-25-14C	E-10-14MT	E-16-14MT	E-25-14MT
1	Вид сжигаемого топлива	Бурый уголь	Каменный уголь	Каменный уголь	Каменный уголь	Бурый уголь	Каменный уголь	Каменный уголь	Маут	Маут	Маут
2	Расход топлива B_n , кг/ч	558	500	803	435	2180	662	3115	673	1087	1682
3	Вид топлива	Слоевая ЗП-РПК-2	Слоевая ТЛЕМ	Слоевая ТЛЕМ	Слоевая ТЛЕМ	Слоевая ТЛЕМ	Слоевая ТЛЕМ	Слоевая ТЛЕМ	Каменная ТЛЕМ	Каменная ТЛЕМ	Каменная ТЛЕМ
4	Потери тепла $q_{\text{п}}\%$	7,0	5,5	6,0	0	5,5	0	6,0	0	0	0
5	Коэффициент избытка воздуха перед дымовой трубой α_d	1,25	1,3	1,3	1,35	1,35	1,35	1,4	1,3	1,3	1,3
6	Температура уходящих газов T_g , °C	163	155	157	175	152	180	180	174	173	172

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12*
7	Давление воздуха P_6 , МПа	0,09	0,1	0,1	0,09	0,11	0,105	0,11	0,1	0,11	0,11
8	Температура наружного воздуха t_{00} , °С	23,9	18,6	29,5	22,5	21,4	21,1	22,2	20,6	21,9	24,2
9	Тип золоуловителя	Сухой	Сухой	Мокрый	Сухой	Мокрый	Сухой	Мокрый	Сухой	Сухой	Сухой
10	КПД золоуловителя $\eta_{\text{зу}}$, %	90	90	96	90	96	90	97	90	90	90
11	Величина коэффициента x	0,0026	0,0035	0,0035	0,01	0,0035	0,01	0,0035	0,01	0,01	0,01
12	Величина коэффициента K_{CO} , кг/ГДж	0,7	0,7	0,7	0,32	0,7	0,32	0,7	0,32	0,32	0,32
13	Величина коэффициента K_{NO_2} , кг/ГДж	0,17	0,20	0,21	0,09	0,19	0,09	0,24	0,08	0,09	0,1

Таблица 2

Теплотехнические характеристики энергетических видов топлива

№ варианта	Вид топлива	Марка топлива	Состав рабочей массы топлива, %							Теплота сгорания Q_p , МДж/кг	Объемы продуктов сгорания, м ³ /кг			
			W^p	A^p	S^p	C^p	H^p	N^p	O^p		V_0	$V_{\text{H}_2\text{O}}$	$V_{\text{N}_2}^0$	$V_{\text{H}_2\text{O}}^0$
0	Уголь	Б2	33,0	4,7	0,2	44,2	3,1	0,8	11,2	17,87	4,28	0,83	3,38	0,82
1	Уголь	Г	8,0	14,3	0,5	63,3	4,4	2,1	7,4	25,3	6,56	1,19	5,2	0,69
2	Уголь	Д	13,0	10,4	0,4	59,6	4,0	1,8	10,8	22,7	6,01	1,12	4,76	0,7
3	Мазут	Малосернистый	3,0	0,05	0,8	84,65	11,7	0,3	0,3	40,28	10,62	1,58	8,39	1,51
4	Уголь	Б3	17,0	32,4	0,9	35,9	2,6	1,0	10,2	13,44	3,57	0,68	2,83	0,56
5	Мазут	Сернистый	3,0	0,1	1,4	83,8	11,2	0,5	0,5	39,73	10,45	1,57	8,25	1,45
6	Уголь	Ж	5,5	28,4	0,9	55,5	3,6	1,7	4,4	22,02	5,77	1,04	4,57	0,56
7	Мазут	Высокосернистый	3,0	0,1	2,8	83,0	10,4	0,7	0,7	38,77	10,2	1,57	8,06	1,36
8	Мазут	Сернистый	3,0	0,1	1,4	83,8	11,2	0,5	0,5	39,73	10,45	1,57	8,25	1,45
9	Мазут	Малосернистый	3,0	0,05	0,5	84,65	11,7	0,3	0,3	40,28	10,62	1,58	8,39	1,51

Таблица 3

Значения ПДК некоторых вредных веществ
в атмосферном воздухе населенных пунктов

Код вещества	Наименования вредных веществ	Класс опасности	ПДК, мг/м ³	
			Максимальная разовая	Среднесуточ- ная
0301	Диоксид азота NO ₂	2	0,085	0,04
0304	Оксид азота NO	3	0,4	0,06
0330	Сернистый ангидрид SO ₂	3	0,5	0,05
0337	Оксид углерода CO	4	5	3
0328	Сажа (копоть)	3	0,15	0,05
3714	Угольная зола	3	0,5	0,15
0110	Пентаксид ванадия V ₂ O ₅	1	—	0,002
2904	Мазутная зола	2	—	0,002

Содержание

Задание на курсовую работу	1
Указания по выполнению курсовой работы	—
1 Общие положения	2
2 Расчет выбросов вредных веществ	3
3 Расчет рассеивания вредных примесей и выбор высоты дымовой трубы ...	5
4 Конструкция дымовых труб	8
Библиографический список	10
Приложение	11