

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВПО «МГИУ»)

Кафедра промышленной теплоэнергетики

Л.А. Марюшин

«Тепловой расчет котельной установки»
Методическое пособие для студентов направления
140100 «Теплоэнергетика и теплотехника»

МОСКВА 2013

Содержание

1. Принцип работы дымовой трубы
2. Выбор высоты дымовой трубы из условий естественной тяги
3. Выбор высоты дымовой трубы из условий рассеивания вредных примесей.

Данные для расчета

Таблица 1

Наименование, условное обозначение и единицы измерения величин	Варианты									
	1, 11, 21	2, 12, 22	3, 13, 23	4, 14, 24	5, 15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 29	10, 20, 30
1. Тип котла	ДКВР-2,5	ДКВР-4	ДКВР-6,5	ДКВР-10	ДКВР-20	Е-4	Е-6,5	Е-10	Е-16	Е-25
2. Паропроизводительность котла D , т/ч	2,5	4	6,5	10	20	4	6,5	10	16	25
3. Температура уходящих газов t_2 , °С	145	148	152	156	142	143	158	155	150	140
4. Расчетный часовой расход топлива B_p , т/ч;	0,28	0,45	0,73	1,10	2,23	0,27	0,46	0,76	1,13	1,74
5. Объемный расход продуктов сгорания через трубу при температуре их в выходном сечении V_{mp} , м ³ /с	0,32	1,75	2,35	4,88	5,65	0,48	1,55	2,78	9,25	14,28

1. Принцип работы дымовой трубы

Для обеспечения процесса сгорания топлива в котлоагрегате необходимо обеспечить постоянную подачу воздуха в топку котла и отвод продуктов сгорания в окружающую среду. Внешняя сила, действие которой обеспечивает поступление воздуха в топочную камеру при одновременном движении газообразных продуктов горения по газоходам и дымовой трубе называется тягой. Различают искусственную и естественную тягу. Искусственная тяга обеспечивается дымососами, а естественная – дымовой трубой.

Действие дымовой трубы основано на законе сообщающихся сосудов. Вес атмосферного воздуха (рис.1) больше веса такого же столба горячих продуктов сгорания в дымовой трубе. Вследствие этого, наружный холодный воздух поступает в топку, а горячие продукты горения удаляются через дымовую трубу.

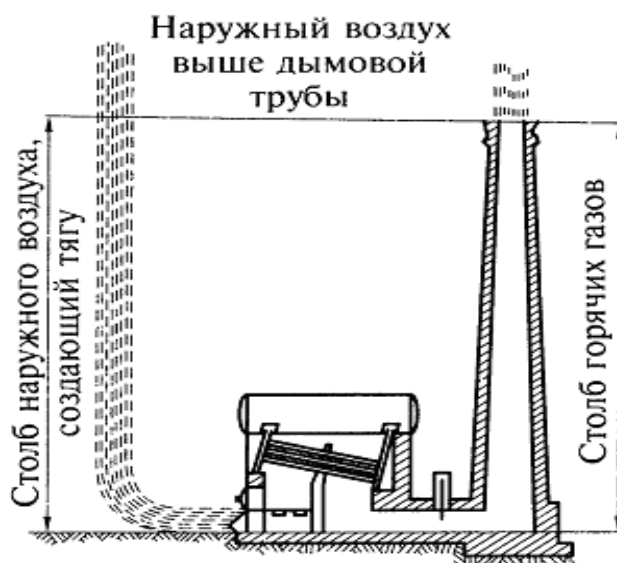


Рис. 1. Принцип действия дымовой трубы

Тяга, создаваемая дымовой трубой зависит от высоты трубы и разности плотностей атмосферного воздуха и продуктов горения. Естественная тяга будет тем больше, чем ниже температура атмосферного воздуха, выше температура продуктов горения, барометрическое давление и больше высота дымовой трубы.

2. Выбор высоты дымовой трубы из условий естественной тяги

Для котельной проектируется обычно одна, общая для всех установленных котлов, дымовая труба.

Дымовые трубы сооружаются по типовым проектам из кирпича или железобетона. Применение металлических дымовых труб диаметром больше 1 м допускается только при технико-экономической целесообразности такого решения.

Высоту дымовой трубы, необходимую для создания нормативной естественной тяги, определяют из условий равенства силы тяги и суммы сопротивлений, возникающих при движении газов по газоходам котлоагрегата и в дымовой трубе, кгс/м².

Необходимая сила естественной тяги дымовой трубы, кгс/м²:

$$S = H \cdot \left(\rho_0^B \cdot \frac{273}{273 + t_B} - \rho_0^Г \cdot \frac{273}{273 + t_Г} \right) \cdot \frac{B_d}{760}$$

где H - высота дымовой трубы, м;

$\rho_0^B, \rho_0^Г$ - плотности воздуха (принять 1,293) и газа (принять 1,26) при нормальных условиях, кг/м³;

$t_B, t_Г$ - температура воздуха (принимаем 20) и средняя температура дымовых газов (принимаем 300), °С;

B_d - минимальное барометрическое давление данного района (принимаем 750), мм рт. ст.

Из данного выражения, при известной величине естественной тяги S (принять 0,04 мм рт. ст.), определяется высота дымовой трубы H .

Окончательно высота дымовой трубы выбирается из следующего ряда высот: 30, 45, 60, 75, 90, 120, 150, 180 м.

3. Выбор высоты дымовой трубы из условий рассеивания вредных примесей

В современных производственных и отопительных котельных дымовая труба служит не для создания тяги, а для отвода продуктов сгорания на определенную высоту, при которой обеспечивается рассеивание вредностей до допустимых санитарными нормами концентраций в зоне нахождения людей. Поэтому высота дымовой трубы выбирается исходя из этого требования.

Определение минимальной высоты дымовой трубы производится в следующей последовательности:

1. Определяется выброс золы (г/с):

$$M_{\text{зол}} = \frac{10^6 \cdot B_p}{3600} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{зу}}}{100}\right) \cdot \left[\left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot \frac{A^p}{100} + \frac{q_4}{100}\right]$$

где B_p - расчетный часовой расход топлива, т/ч (см. табл. 1);

$\eta_{\text{зу}}$ - КПД золоуловителя, % (принимается в зависимости от его типа из табл. 2);

A^p - рабочая зольность, (принимается для твердого топлива 12,5) %;

q_4 - потеря теплоты от механической неполноты горения (принимается равной 0), % .

Таблица 2

КПД золоулавливающих устройств (по СНиП II-35-76)

Золоулавливающие устройства	КПД золоуловителя, %	
	при слоевом сжигании топлива	при камерном сжигании топлива
Блоки циклонов	85-90	70-80
Батарейные циклоны	85-92	80-85
Батарейные циклоны с рециркуляцией	93-95	85-90
Мокрые золоуловители с низконапорными трубами Вентури	-	93-95
Электрофилтры	-	96-99

2. Определяется выброс SO_2 (г/с):

$$M_{SO_2} = \frac{10^6 \cdot B_p \cdot S^P}{3600 \cdot 100} \cdot \frac{\mu_{SO_2}}{\mu_S}$$

Где S^P - содержание серы в рабочей массе топлива (принимаем для твердого топлива 0,3), %;

μ_{SO_2}, μ_S - молекулярная масса SO_2 и S , их отношение равно 2.

3. Определяется выброс оксидов азота, рассчитываемый по NO_2 (г/с)

$$M_{NO_2} = 0,034 \cdot \beta_1 \cdot k \cdot B_p \cdot Q_H^P \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) (1 - \beta_2 \cdot r) \cdot \beta_3$$

Где β_1 - безразмерный поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества сжигаемого топлива и способа шлакозолоудаления на выход оксидов азота, принимается по табл. 3;

β_3 - коэффициент, учитывающий конструкцию горелок, принимается для вихревых горелок $\beta_3 = 1$, для прямоточных горелок $\beta_3 = 0,85$;

r - степень рециркуляции продуктов сгорания или сушильного агента в процентах расхода дутьевого воздуха, при отсутствии рециркуляции $r = 0$;

β_2 - коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих продуктов сгорания в зависимости от условий подачи их в топку, принимается по табл. 4;

Q_H^P - низшая теплота сгорания топлива (принимаем для твердых топлив 16,54), МДж/кг;

k - коэффициент, характеризующий выход оксидов азота на 1 тонну сожженного условного топлива, кг/т, определяется в зависимости от номинальной и действительной паропроизводительности котла по формулам:

Для котлов паропроизводительностью менее 70 т/ч:

$$k = \frac{3,5D}{70}$$

где D - номинальная и действительная паропроизводительность котла, т/ч (см. табл. 1).

Таблица 3

Коэффициент β_1

Топливо	Содержание азота N_T , %	β_1
Природный газ	-	0,85
Мазут при коэффициенте избытка воздуха в топочной камере: 1,05	0,3-0,6	0,8
Твердое топливо	1,0	0,55; 0,8

Таблица 4

Коэффициент β_2 при рециркуляции $0 < r \leq 25$

Способ ввода в топку газов рециркуляции	β_2
При сжигании газа и мазута и вводе:	
в под топки (при расположении горелок на вертикальных экранах)	0,002
через шлицы под горелками	0,015
по наружному каналу горелок	0,020
в воздушном дутье	0,025
в рассечку двух воздушных потоков	0,030
При сжигании твердого топлива ($t_f > 1400$ °С) и вводе:	0,010
в первичную аэросмесь	0,005
во вторичный воздух	

4. Определяется диаметр устья дымовой трубы, м:

$$D_{\text{тр}}^y = \sqrt{\frac{4V_{\text{тр}}}{\pi\omega_{\text{вых}}}}$$

где $V_{\text{тр}}$ - объемный расход продуктов сгорания через трубу при температуре их в выходном сечении, м³/с (см. табл. 1);

$\omega_{\text{вых}}$ - скорость продуктов сгорания на выходе из дымовой трубы (принимается 20—30 м/с при искусственной тяге и высоте дымовой трубы до 100 м).

5. Определяется предварительная минимальная высота дымовой трубы, м:

$$H = \sqrt{A \cdot \frac{M_{SO_2} + \frac{ПДК_{SO_2}}{ПДК_{NO_2}} M_{NO_2}}{ПДК_{SO_2}}} \cdot \sqrt{\frac{Z}{V_{\text{тр}} \cdot \Delta t}}$$

где A - коэффициент, зависящий от метеорологических условий местности, составляет:

- для Севера и Северо-Запада Европейской части СССР, Урала, Среднего Поволжья 160;

- для центральной части Европейской территории РФ и в областях со сходным климатом 120.

$ПДК_{SO_2}, ПДК_{NO_2}$ - предельные допустимые концентрации SO_2 и NO_2 , принимаются по табл. 5;

Z - число дымовых труб одинаковой высоты, устанавливаемых в котельной (принимается 1 трубу);

Δt - разность средней температуры выбрасываемых газов и средней температуры воздуха, °С.

ПДК вредных веществ в атмосфере населенных пунктов

Загрязняющее вещество	Предельная допустимая концентрация, мг/м ³	
	Максимально-разовая	Среднесуточная
Пыль нетоксичная	0,5	0,015
Сернистый ангидрид	0,5	0,05
Оксид углерода	3,0	1,0
Диоксид азота	0,085	0,085
Сажа	0,15	0,05
Сероводород	0,008	0,008
Бензопирен	-	0,1 мкг/100м ³
Пентоксид ванадия	-	0,002
Фтористые соединения (по фтору)	0,02	0,005
Хлор	0,1	0,03

6. Определяются коэффициенты f и v_M :

$$f = 10^3 \cdot \frac{\omega_{\text{вых}}^2 \cdot D_{\text{тр}}^y}{H^2 \cdot \Delta t};$$

$$v_M = 0,65 \sqrt{\frac{4V_{\text{тр}} \cdot \Delta t}{H}}$$

7. Определяется коэффициент m в зависимости от параметра f

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}$$

8. Определяется безразмерный коэффициент n в зависимости от параметра v_M :

- при $v_M \leq 0,3$ $n = 3$;

- при $0,3 < v_M \leq 2$ $n = 3 - \sqrt{(v_M - 0,3)(4,36 - v_M)}$;

- при $v_M > 2$ $n = 1$.

9. Определяется минимальная высота дымовой трубы во втором приближении:

$$H_1 = H\sqrt{m \cdot n}$$

10. Если разница между H_1 и H больше 5%, то выполняется второй уточняющей расчет

$$H_2 = H_1 \sqrt{\frac{m_1 \cdot n_1}{m \cdot n}}$$

11. При рассчитанной высоте дымовой трубы H_2 определяется максимальная приземная концентрация каждого из вредных веществ (золы SO_2 , NO_2):

$$c_{\text{зол}} = \frac{A \cdot M_{\text{зол}} \cdot F \cdot m_2 \cdot n_2}{H_2^2 \cdot \sqrt[3]{V_{\text{тр}} \cdot \Delta t}}$$

$$c_{SO_2} = \frac{A \cdot M_{SO_2} \cdot m_2 \cdot n_2}{H_2^2 \cdot \sqrt[3]{V_{\text{тр}} \cdot \Delta t}}$$

$$c_{NO_2} = \frac{A \cdot M_{NO_2} \cdot m_2 \cdot n_2}{H_2^2 \cdot \sqrt[3]{V_{\text{тр}} \cdot \Delta t}}$$

где F - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания золы в атмосферном воздухе, принимается равным 2 (КПД золоуловителя не менее 90 %) и равным 2,5 (КПД золоуловителя от 75 до 90 %).

12. Проверяется условие, при котором безразмерная суммарная концентрация не должна превышать 1, т. е.

$$\frac{c_{\text{зол}}}{\text{ПДК}_{\text{зол}}} + \frac{c_{SO_2}}{\text{ПДК}_{SO_2}} + \frac{c_{NO_2}}{\text{ПДК}_{NO_2}} \leq 1$$

Если указанное условие не соблюдается, следует увеличить высоту дымовой трубы, при которой безразмерная концентрация будет меньше или равна 1.

В соответствии со СНиП II-35-76 следует выбрать дымовую трубу из кирпича или железобетона из следующего ряда диаметров выходного отверстия: 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; 7,8; 8,4; 9,0; 9,6 м. Высота дымовых труб должна приниматься 30, 45, 60, 75, 90, 120, 150 и 180 м. Минимальный диаметр выходных отверстий кирпичных труб 1,2 м, монолитных железобетонных - 3,6 м. Во избежание проникновения продуктов сгорания в толщу конструкций кирпичных и железобетонных труб

не допускается положительное статическое давление на стенки газоотводящего ствола.

Литература

1. Эстеркин Р. И. Промышленные котельные установки. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Эстеркин Р. И. Эксплуатация, наладка и испытание теплотехнического оборудования промышленных предприятий. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергоатомиздат, 1984.
3. Эстеркин Р.И. Котельные установки. Курсовое и дипломное проектирование.-Л.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). - 3-е изд., перераб. и доп. - СПб.:НПОЦКТИ, 1998.
5. Аэродинамический расчет котельных установок (Нормативный метод)/ Под ред. С. И. Мочана. - 3-е изд. - Л.: Энергия, 1977.
6. Александров А. А., Григорьев Б. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. - М.: Изд-во МЭИ, 1999.
7. Паровые и водогрейные котлы. Справочное пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Изд-во «Деан», 2000.