

Министерство образования Российской Федерации
Томский государственный
архитектурно-строительный университет

**Аэродинамический расчет
газовоздушного тракта котла**

Составители А.Н. Хуторной, С.В. Хон

Томск 2010

Аэродинамический расчет газозвдушного тракта котла :
методические указания / Сост. А.Н. Хуторной, С.В. Хон. –
Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. – 40 с.

Рецензент к.т.н. А.В. Колесникова
Редактор Е.Ю. Глотова

Методические указания для дипломного проектирования по
дисциплине «Теплогенерирующие установки» для студентов всех
форм обучения специальности 270109 «Теплогасоснабжение и вен-
тиляция».

Печатаются по решению методического семинара кафедры
теплогасоснабжения № 1 от 31 августа 2010 г.

Утверждены и введены в действие проректором по учебной
работе В.В. Дзюбо

с 01.11.2010
до 01.11.2015

Подписано в печать
Формат 60×84. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.
Уч.-изд. л. 2,1. Тираж 50 экз. Заказ №

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Аэродинамический расчет газоздушного тракта котла.....	4
1.1. Компоновка оборудования котельной.....	5
1.2. Аэродинамический расчет воздушного тракта котла.....	15
1.3. Аэродинамический расчет газового тракта котла.....	18
Список рекомендуемой литературы	24
Приложение 1. Геометрические размеры газоходов и воздухопроводов.....	25
Приложение 2. Рекомендации по выбору коэффициентов местных сопротивлений.....	27
Приложение 3. Сопротивление серийных котельных агрегатов.....	35
Приложение 4. Вентиляторы дутьевые и дымососы центробежные.....	36

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины «Теплогенерирующие установки» для студентов всех форм обучения специальности 290700 «Теплогазоснабжение и вентиляция».

При работе теплогенерирующих установок (далее ТГУ) требуется обеспечить непрерывную подачу в топку воздуха, необходимого для горения топлива и удаление в атмосферу продуктов сгорания (дымовых газов) после их охлаждения и очистки.

В процессе работы студенту необходимо разработать схему газозвдушного тракта котла, определить размеры воздуховодов и газоходов и скорости движения сред в них, потери напора на трение и в местных сопротивлениях, подобрать вентиляторы и дымососы. Для этих целей в методических указаниях приведены методика и необходимые справочные данные.

1. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГАЗОВОЗДУШНОГО ТРАКТА КОТЛА

Аэродинамический расчет газозвдушного тракта котла должен производиться в соответствии с нормативным методом [1]. Однако такой расчет требует большого объема вычислений, который выходит за рамки программы обучения, в связи с чем в данных методических указаниях приведена упрощенная методика расчета.

Аэродинамический расчет газозвдушного тракта котла выполняется с целью определения аэродинамических сопротивлений всех элементов установки и выбора необходимого тягодутьевого оборудования. Газозвдушный тракт включает в себя воздуховоды, газоходы, калориферы для подогрева воздуха, вентиляторы, дымососы, котельные агрегаты, золоуловители и дымовые трубы. По данным этого расчета должны быть опре-

делены: размеры дымовой трубы; типоразмеры дымососов и дутьевых вентиляторов и подобраны к ним электродвигатели.

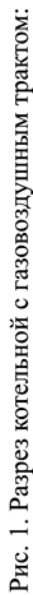
Различают следующие схемы газозвоздушных трактов теплогенерирующих установок:

- а) с естественной тягой, создаваемой дымовой трубой;
- б) с подачей воздуха и удалением продуктов сгорания дымососом и трубой;
- в) с подачей воздуха вентилятором и удалением продуктов сгорания дымососом и трубой (котлы с уравновешенной тягой);
- г) с подачей воздуха отдельно в пылеприготовительную установку и топку с удалением продуктов сгорания дымососом и трубой;
- д) с подачей воздуха вентилятором и удалением продуктов сгорания за счет давления в газовом тракте (котлы с наддувом).

Перед тем, как приступить к расчету, необходимо проработать компоновку оборудования котельной, аксонометрическую схему газозвоздушного тракта ТГУ и разбить ее на расчетные участки.

1.1. Компоновка оборудования котельной

Компоновка оборудования котельной должна выполняться соответствии с [2–4]. При проектировании котельных тягодутьевые установки (дымососы и дутьевые вентиляторы) должны предусматриваться индивидуальными к каждому котлоагрегату. Групповые (для нескольких котлов) или общие (для всей котельной) тягодутьевые установки допускается применять при проектировании новых котельных с котлами производительностью до 1 Гкал/ч (1,163 МВт) и при проектировании реконструируемых котельных. Пример компоновки котельной (вертикальный и горизонтальный разрезы) и аксонометрических схем газозвоздушных трактов котлов представлены на рис. 1–3.



1 — воздухопод; 2 — кронштейн; 3 — дутьевой вентилятор; 4 — горелочное устройство; 5 — котел;
6 — верхний барабан котла; 7 — экономайзер; 8 — газохолд; 9 — дымосос; 10 — взрывной клапан;
11 — дымовая труба

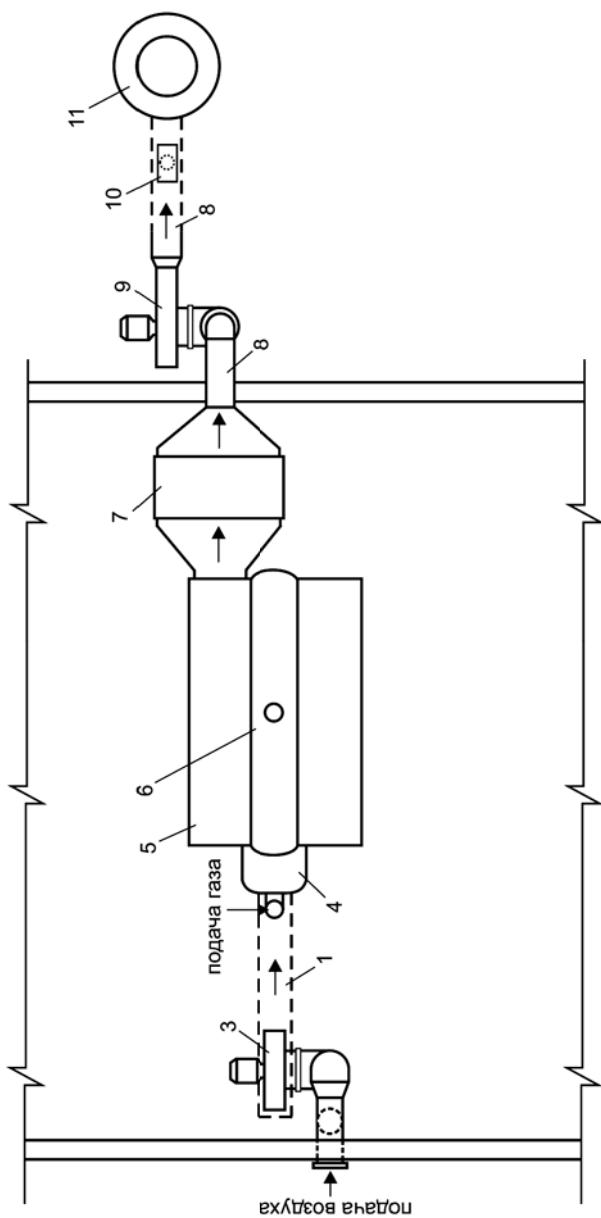


Рис. 2. Разрез котельной с газозудным трактом (вид сверху):
 нумерация элементов соответствует рис. 1

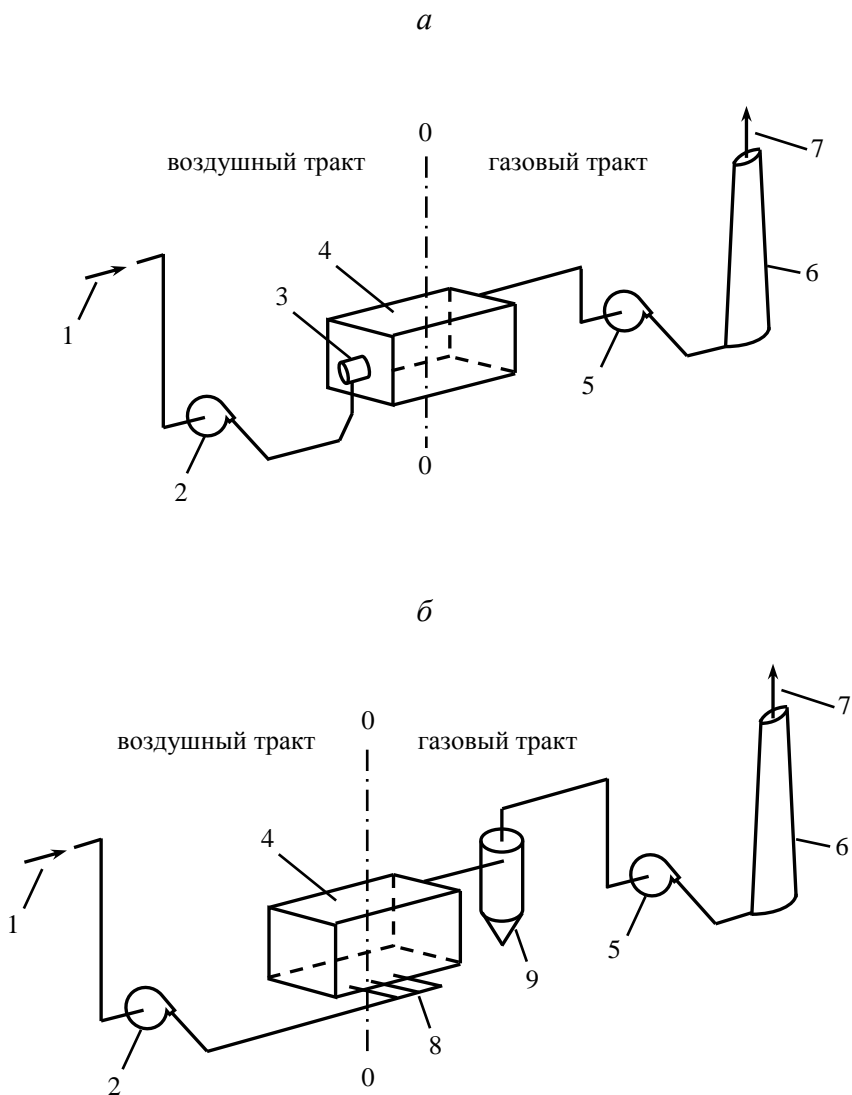
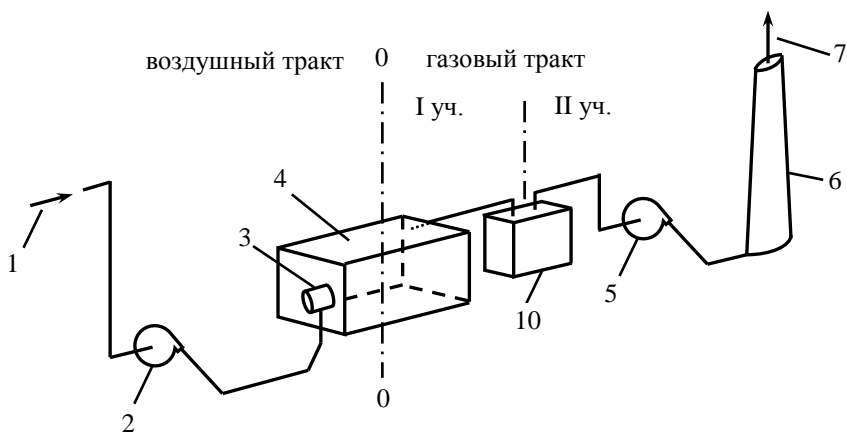
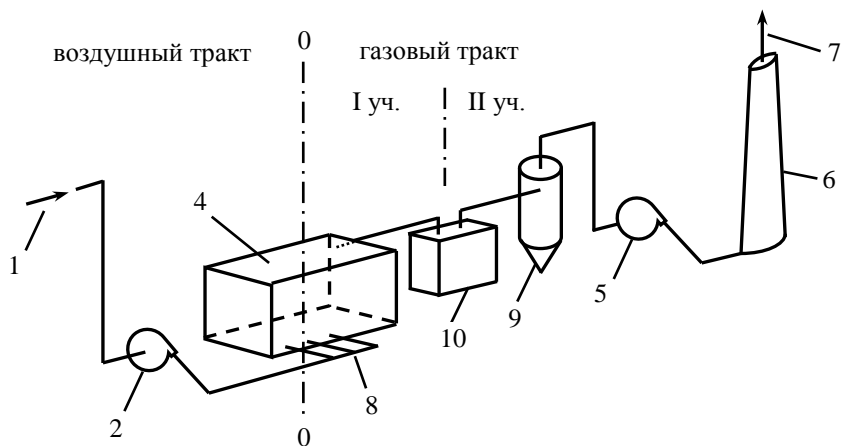


Рис. 3. Аксонометрические схемы газозвоздушного тракта котлов:
a – КВ-ГМ; *б* – КВ-ТС; *в* – ДЕ; *г* – КЕ;

6



2



Окончание рис. 3

1 – подача воздуха; 2 – дутьевой вентилятор; 3 – горелочное устройство;
4 – котел; 5 – дымосос; 6 – дымовая труба; 7 – выход дымовых газов; 8 – по-
дача воздуха на горение (позонное дутье); 9 – золоуловитель; 10 – экономай-
зер; линия 0–0 – граница раздела воздушного и газового трактов котла;
I уч., II уч. – номера участков газового тракта котла

Расстояние от фронта котлов или выступающих частей топок до противоположной стены котельной должно составлять не менее 3 м. Для котлов, работающих на газообразном или жидком топливе, расстояние от горелочных устройств до стены котельного помещения должно быть не менее 1 м. Перед фронтом котлов допускается установка котельного вспомогательного оборудования и щитов управления, при этом ширина свободных проходов вдоль фронта должна быть не менее 1,5 м. Ширина проходов между крайними котлами и стенами котельной, а также ширина прохода между котлами и задней стеной котельной должна составлять не менее 1 м. Проходы в котельной должны иметь свободную высоту не менее 2 м.

Компоновка газовоздухопроводов должна выполняться так, чтобы сопротивление потока воздуха или газов, определяющее необходимое давление вентилятора или дымососа, было минимальным при оптимальных значениях скоростей. Газовоздухопроводы следует проектировать преимущественно круглого поперечного сечения, так как они характеризуются меньшим, по сравнению с газовоздухопроводами квадратного и особенно прямоугольного сечения, расходом металла и тепловой изоляцией при одинаковом аэродинамическом сопротивлении.

Переходы с меньшего сечения газовоздухопровода на большее должны выполняться в виде диффузора с возможно меньшим суммарным углом раскрытия, в пределах от 7 до 20°. Переход с большего сечения газовоздухопровода на меньшее выполняется в виде конфузора. Оптимальный суммарный угол сужения составляет около 25°.

Повороты газовоздухопроводов круглого сечения выполняются в виде сварных колен. Повороты газовоздухопроводов прямоугольного сечения выполняются в виде отводов с концентрическими кромками с относительным радиусом закругления $R/b = 1 \div 2$ (рис. 4, *а*) или в виде колена с обеими закругленными кромками при $r_{вн}/b = r_{н}/b \approx 0,4 \div 0,6$ (рис. 4, *б*).

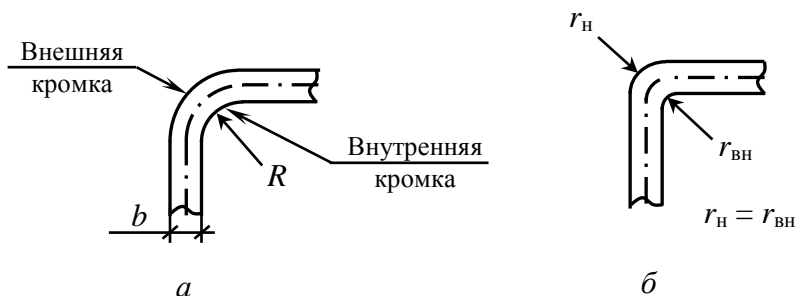


Рис. 4. Схема отвода (а) и колена (б)

Забор воздуха из верхней зоны котельной следует производить через раструб с последующим конфузторным поворотом (рис. 5). Для попеременного забора воздуха – или внутреннего, из котельной, или наружного (в летний и зимний периоды) – используются патрубки двустороннего всасывания (рис. 5, в) с применением перекидного клапана.

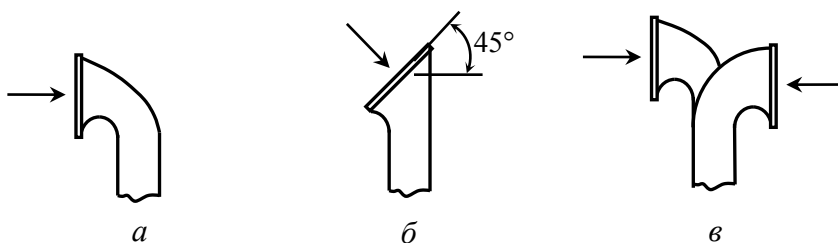


Рис. 5. Патрубки для забора воздуха:

а, б – одностороннего всасывания; в – двустороннего всасывания, для забора воздуха из котельной и наружного воздуха

Забор воздуха из нижней зоны котельной с отметки вентилятора (без всасывающего воздухопровода) осуществляется через входной патрубок с закругленными кромками (рис. 6).

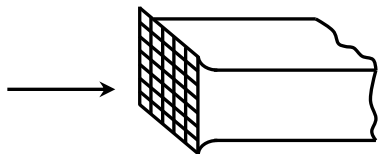


Рис. 6. Вход воздуха в канал с закругленными кромками

Во входных сечениях заборных воздухопроводов устанавливается защитная сетка. Живое сечение сетки велико, и ее сопротивление можно не учитывать.

Тягодутьевые установки (дымососы и дутьевые вентиляторы) должны предусматриваться индивидуальными к каждому котлоагрегату [2]. Групповые (для отдельных групп котлов) или общие (для всей котельной) тягодутьевые установки допускается применять при проектировании новых котельных с котлами производительностью до 1 Гкал/ч и при проектировании реконструируемых котельных.

Непосредственно за нагнетательным патрубком дымососа или вентилятора должен устанавливаться диффузор для уменьшения потерь динамического давления. Повороты газозабопроводов должны выполняться после установленного за дымососом диффузора.

Как правило, при ограниченном количестве котлоагрегатов, до 4–6, следует избегать установки раздающих и собирающих коробов (коллекторов), заменяя их для уменьшения потери давления устройствами типа тройников улучшенной формы (рис. 7).

Сопротивление движению потока по каналам такого устройства можно приближенно рассчитывать по сопротивлению соответствующего поворота.

В зависимости от гидрогеологических условий и компоновочных решений котлоагрегатов наружные газоходы должны предусматриваться подземными или надземными.

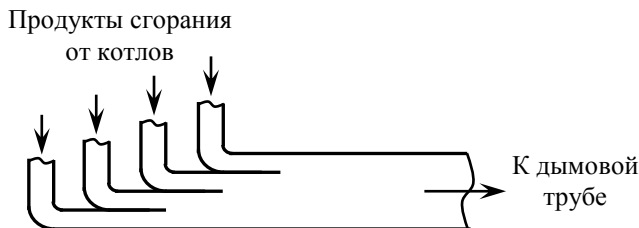


Рис. 7. Собираение потока при ограниченном количестве ответвлений

При установке раздающих коробов, в случаях, когда их установка все же необходима, следует на отводящих патрубках размещать конфузоры (рис. 8).

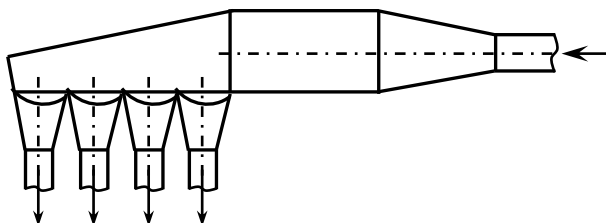


Рис. 8. Схема раздающего короба

Газоходы следует предусматривать кирпичными или железобетонными. Применение надземных металлических газоходов допускается в виде исключения, при наличии соответствующего технико-экономического обоснования.

Для участков газоходов, где возможно скопление золы, должны предусматриваться устройства для очистки.

Для отвода дымовых газов в атмосферу должны использоваться железобетонные, кирпичные или металлические трубы с внутренней футеровкой. Как правило, должна проектироваться

одна, общая для всех устанавливаемых котлов, дымовая труба. Схема цокольной части дымовой трубы зависит от материала трубы (рис. 9).

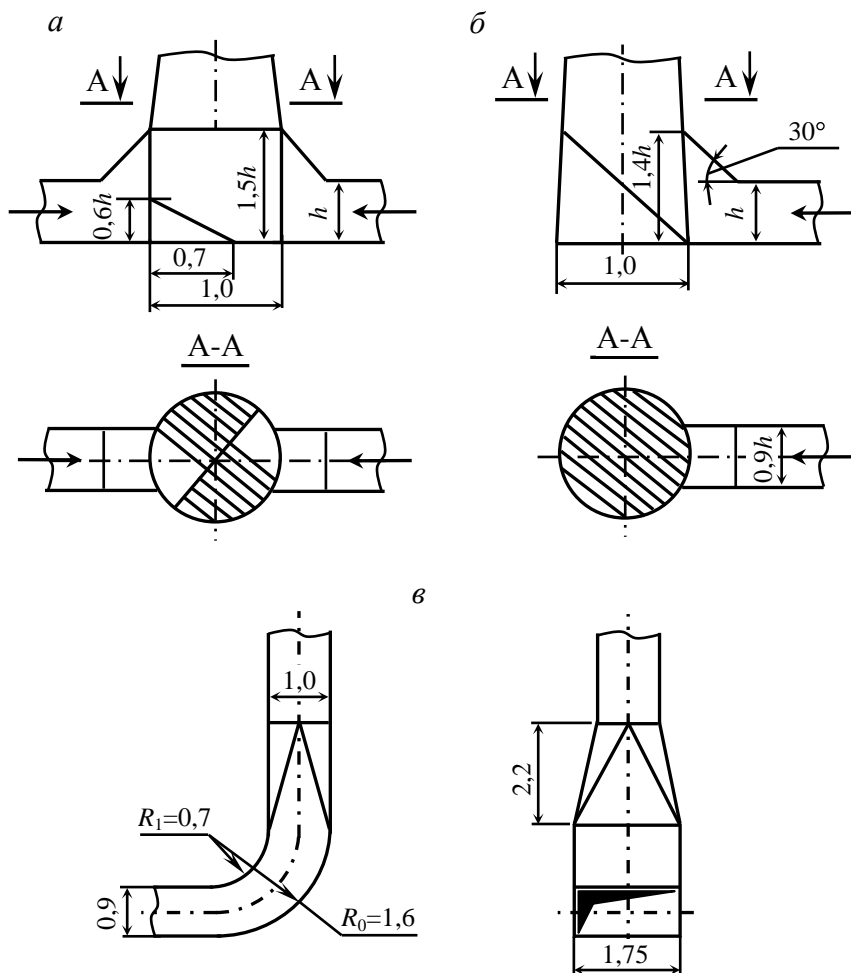


Рис. 9. Схемы выполнения цокольной части дымовых труб:
a – цоколь с двусторонним подводом газоходов в железобетонную или кирпичную трубу; *б* – цоколь с подводом одиночного газохода в железобетонную или кирпичную трубу; *в* – подвод газов в металлическую трубу

Подводящие газоходы в месте примыкания к дымовой трубе необходимо проектировать прямоугольной формы.

1.2. Аэродинамический расчет воздушного тракта котла

При расчете котельного агрегата с уравновешенной тягой считается, что гидравлический нуль по газовоздушному тракту котла находится на выходе из топки.

Аэродинамический расчет воздушного тракта котельных агрегатов проводится в следующей последовательности:

1. Из теплового расчета котельного агрегата принимается теоретический объем воздуха, подаваемого на горение, V^0 , и расход топлива B_p .

2. Определяем площади поперечного сечения воздухопровода, m^2 , для двух характерных значений скоростей движения воздуха 8 и 12 м/с:

$$f_{(8)} = \frac{V^0 \cdot B_p (t_b + 273)}{w_b \cdot 273}; \quad f_{(12)} = \frac{V^0 \cdot B_p (t_b + 273)}{w_b \cdot 273},$$

где t_b – средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца, °С, принимаемая по [5] (в соответствии с [6] может быть принята равной 30 °С); w_b – скорость движения воздуха, м/с.

3. По прил. 1 подбираем размер воздухопровода (круглого или прямоугольного поперечного сечения) таким образом, чтобы площадь его поперечного сечения $f_{в.д}$ находилась в полученном диапазоне от $f_{(8)}$ до $f_{(12)}$. Для выбранного воздухопровода

выписываем значение $f_{в.д}$ и значение внутреннего диаметра канала (для круглого воздуховода) или геометрические размеры канала (для прямоугольного воздуховода).

4. Определяем действительную скорость движения воздуха, м/с, в воздуховодах

$$w_{в.д} = \frac{V^0 \cdot B_p(t_b + 273)}{f_{в.д} \cdot 273}.$$

5. Рассчитываем потери напора в воздуховоде на трение, Па, по формуле

$$\Delta h_{тр} = \lambda \frac{\ell}{d} \frac{w_{в.д}^2}{2} \rho_v,$$

где λ – коэффициент сопротивления трения (для металлических каналов равен 0,02; для кирпичных или бетонных каналов при $d_{экр} \geq 0,9$ м – $\lambda = 0,03$, а при $d_{экр} < 0,9$ м – $\lambda = 0,04$); ℓ – длина воздуховода от всасывающего патрубка до котла, м; $w_{в.д}$ – действительная скорость движения воздуха по каналу, м/с; ρ_v – плотность воздуха, определяемая по формуле $\rho_v = 353/(t_b + 273)$, кг/м³; d – внутренний диаметр канала (для прямоугольных каналов принимается эквивалентный диаметр $d_{экр} = 2 \cdot a \cdot b / (a + b)$, где a и b – размеры сторон прямоугольного сечения, м).

6. Рассчитываем потери напора в местных сопротивлениях, Па, воздуховода (повороты, разветвления, изменения сечения, шиберы) по формуле

$$\Delta h_m = \Sigma \xi \frac{w_{в.д}^2}{2} \rho_v,$$

где $\Sigma \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений, определяемых согласно прил. 2.

7. Определяем полные потери напора, Па, в воздушном тракте котла:

$$\Delta h_{\text{в}} = \Delta h_{\text{м}} + \Delta h_{\text{тр}} + \Delta h_{\text{в.к}} ,$$

где $\Delta h_{\text{в.к}}$ – потери напора в воздушном тракте котельного агрегата, Па, принимаемые по прил. 3.

Выбор дутьевого вентилятора осуществляется по расходу воздуха, проходящего через вентилятор (по производительности), и по необходимой величине напора.

8. Действительный расход воздуха, м³/с, проходящий через дутьевой вентилятор, определяется из выражения

$$V_{\text{в}} = \beta_{\text{пр}} \cdot B_{\text{р}} \cdot V^0 (\alpha_{\text{т}} - \Delta \alpha_{\text{т}} - \Delta \alpha_{\text{пл}}) \frac{t_{\text{в}} + 273}{273} ,$$

где $\alpha_{\text{т}}$ – коэффициент избытка воздуха в топке (принимается из расчета котельного агрегата); $\Delta \alpha_{\text{т}}$ и $\Delta \alpha_{\text{пл}}$ – присосы воздуха в топке и системе пылеприготовления при сжигании угольной пыли; $\beta_{\text{пр}}$ – коэффициент запаса по производительности ($\beta_{\text{пр}} = 1,05$) [2].

9. Расчетное полное давление, Па, которое должен развивать вентилятор, определяется по формуле

$$H_{\text{р.в}} = \beta_{\text{н}} \cdot \Delta h_{\text{в}} ,$$

где $\beta_{\text{н}}$ – коэффициент запаса по напору ($\beta_{\text{н}} = 1,1$) [2].

При выборе дутьевой установки ее расчетное полное давление, $H_{\text{р.в}}$, необходимо привести к условиям, для которых составлена характеристика вентилятора:

$$H_{p.в}^{пр} = H_{p.в} \frac{t_{в} + 273}{30 + 273},$$

где 30 – температура, °С, для которой составлена характеристика вентилятора.

10. Расчетная мощность электродвигателя, кВт, для привода вентилятора определяется по формуле

$$N_{эд} = \frac{\beta_{м} \cdot H_{p.в}^{пр} \cdot V_{в}}{1000 \cdot \eta_{эд}},$$

где $\beta_{м}$ – коэффициент запаса ($\beta_{м} = 1,05$); $\eta_{эд}$ – к. п. д. электродвигателя ($\eta_{эд} = 0,7 \div 0,8$).

Используя значения $V_{в}$ и $H_{p.в}^{пр}$, по прил. 4 необходимо подобрать марку вентилятора и электродвигателя.

1.3. Аэродинамический расчет газового тракта котла

Аэродинамический расчет газового тракта котельных агрегатов производится аналогично расчету воздушного тракта. Однако при расчете газового тракта котла необходимо учитывать то, что данный тракт может быть разбит на отдельные участки. За отдельный участок принимается участок газового тракта с неизменным в его пределах расходом продуктов сгорания.

Количество участков в газовом тракте зависит от типа котельного агрегата и компоновки газоходов, а именно, от наличия или отсутствия сборного коллектора (см. рис. 7, 8).

При отсутствии сборного коллектора и при выполнении аэродинамического расчета газового тракта водогрейных котлов (КВ-ТС, КВ-ГМ) газовый тракт не разбивается на отдельные участки и рассчитывается как один участок протяженно-

стью от котла до устья дымовой трубы. При расчете газового тракта паровых котлов (КЕ, ДЕ) газовый тракт котла разбивается на два участка: 1-й участок – от котла до экономайзера; 2-й участок – от экономайзера до устья дымовой трубы.

При наличии сборного коллектора для любого котла (водогрейный или паровой) в газовом тракте появляется еще, как минимум, один расчетный участок.

Ниже представлена методика аэродинамического расчета газового тракта парового котла без сборного коллектора.

1. Ввиду наличия экономайзера, разбиваем газовый тракт котла на два участка (см. рис. 3, в, г). Из теплового расчета котельного агрегата для соответствующих участков принимается объем продуктов сгорания после 2-го конвективного пучка $V_{г1}$ и после экономайзера $V_{г2}$. И принимается температура продуктов сгорания на выходе из 2-го конвективного пучка $t_{г1}$ и на выходе из экономайзера $t_{г2}$.

2. Определяем площади поперечного сечения газоходов, m^2 , для двух характерных значений скоростей движения продуктов сгорания 11 и 18 м/с

– для 1-го участка:

$$f_{1(11)} = \frac{V_{г1} \cdot B_p(t_{г1} + 273)}{w_{г} \cdot 273}; \quad f_{1(18)} = \frac{V_{г1} \cdot B_p(t_{г1} + 273)}{w_{г} \cdot 273};$$

– для 2-го участка:

$$f_{2(11)} = \frac{V_{г2} \cdot B_p(t_{г2} + 273)}{w_{г} \cdot 273}; \quad f_{2(18)} = \frac{V_{г2} \cdot B_p(t_{г2} + 273)}{w_{г} \cdot 273},$$

где $w_{г}$ – скорость движения продуктов сгорания, м/с.

3. По прил. 1 для обоих участков подбираем размеры газоходов (круглого или прямоугольного поперечного сечения) таким образом, чтобы площадь его поперечного сечения $f_{г.д}$ находилась в полученном диапазоне от $f_{(11)}$ до $f_{(18)}$. Для выбранного газохода выписываем значение $f_{г.д}$ и значение внутреннего диаметра канала (для круглого газохода) или геометрические размеры канала (для прямоугольного газохода).

4. Определяем действительную скорость движения продуктов сгорания, м/с, в газоходах

$$\begin{array}{ll} \text{— для 1-го участка:} & \text{— для 2-го участка:} \\ w_{г.д1} = \frac{V_{г1} \cdot B_p (t_{г1} + 273)}{f_{г.д1} \cdot 273}; & w_{г.д2} = \frac{V_{г2} \cdot B_p (t_{г2} + 273)}{f_{г.д2} \cdot 273}. \end{array}$$

5. Потери напора в газоходах на трение, Па, рассчитываются отдельно для газоходов (от котла до дымовой трубы) и отдельно для дымовой трубы.

Для газоходов расчет ведется по формулам

$$\begin{array}{ll} \text{— для 1-го участка:} & \text{— для 2-го участка:} \\ \Delta h_{тр1} = \lambda \frac{\ell_1}{d_1} \frac{w_{г.д1}^2}{2} \rho_{г1}; & \Delta h_{тр2} = \lambda \frac{\ell_2}{d_2} \frac{w_{г.д2}^2}{2} \rho_{г2}, \end{array}$$

где λ — коэффициент сопротивления трения (для металлических каналов равен 0,02; для кирпичных или бетонных каналов при $d_{экр} \geq 0,9$ м — $\lambda = 0,03$, а при $d_{экр} < 0,9$ м — $\lambda = 0,04$); ℓ_1 , ℓ_2 — длина первого и второго участков, соответственно, м; $w_{г.д1}$, $w_{г.д2}$ — скорости движения газов по каналам первого и второго участков, соответственно, м/с; d — внутренний диаметр канала (для прямоугольных каналов принимается эквивалентный диа-

метр), м; ρ_r – плотность продуктов сгорания при данной температуре, $\rho_r = 353/(t_r + 273)$, кг/м³.

Для цилиндрических дымовых труб расчет потери напора ведется по формуле

$$\Delta h_{\text{тр.}H} = \lambda_H \frac{H}{d_{\text{тр}}} \frac{w_H^2}{2} \rho_{r2},$$

где H , $d_{\text{тр}}$ – высота и диаметр устья дымовой трубы, м; $w_{H,H}$ – скорость газов в выходном сечении трубы, м/с; λ_H – коэффициент сопротивления трения (для бетонных и кирпичных труб равен 0,05; для стальных труб диаметром $d_{\text{тр}} \geq 2$ м – $\lambda_H = 0,015$, а при $d_{\text{тр}} < 2$ м – $\lambda_H = 0,02$; для труб из кремнебетона $\lambda_H = 0,02$).

Значения H , $d_{\text{тр}}$, $w_{H,H}$ принимаются из предыдущего расчета вредных выбросов и минимальной необходимой высоты дымовой трубы.

6. Потери напора в местных сопротивлениях, Па, газоходов (повороты, разветвления, изменения сечения, шиберы) рассчитываем по формулам

– для 1-го участка:

$$\Delta h_{m1} = \Sigma \xi_1 \frac{w_{г.д1}^2}{2} \rho_{r1};$$

– для 2-го участка:

$$\Delta h_{m2} = \Sigma \xi_2 \frac{w_{г.д2}^2}{2} \rho_{r2},$$

где $\Sigma \xi_1$, $\Sigma \xi_2$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на первом и втором участках, соответственно, принимаемых по прил. 2.

7. Определяем полные потери напора, Па, в газовом тракте котла:

$$\Delta h_{\Gamma} = \Delta h_{\text{м}} + \Delta h_{\text{тр}} + \Delta h_{\text{Г.к}},$$

где $\Delta h_{\text{Г.к}}$ – потери напора в газовом тракте котельного агрегата, Па, принимаемые по прил. 3.

Выбор дымососа осуществляется по расходу продуктов сгорания, проходящих через дымосос, и по необходимой величине напора.

8. Определяется действительный расход продуктов сгорания, м³/с, проходящий через дымосос:

$$V_{\text{д}} = \beta_{\text{пр}} \cdot B_{\text{р}} (V_{\text{Г2}} + \Delta\alpha V^0) \frac{t_{\text{Г2}} + 273}{273},$$

где $\Delta\alpha$ – присосы воздуха в газоходы (принимаются $\Delta\alpha = 0,01$ на каждые 10 м длины стальных газоходов и $\Delta\alpha = 0,05$ на каждые 10 м длины кирпичных боровов; для золоуловителей циклонного типа или скруббера $\Delta\alpha = 0,05$; для электрофильтров котлов с $D \leq 50$ т/ч $\Delta\alpha = 0,15$); $\beta_{\text{пр}}$ – коэффициент запаса по производительности ($\beta_{\text{пр}} = 1,05$) [2].

9. Расчетное полное давление, Па, которое должен развивать дымосос, определяется по формуле

$$H_{\text{р.д}} = \beta_{\text{н}} \cdot \Delta h_{\Gamma},$$

где $\beta_{\text{н}}$ – коэффициент запаса по напору ($\beta_{\text{н}} = 1,1$) [2].

При выборе тяговой установки ее расчетное полное давление $H_{\text{р.д}}$ необходимо привести к условиям, для которых составлена характеристика дымососа:

$$H_{\text{р.д}}^{\text{пр}} = H_{\text{р.д}} \frac{t_{\text{Г2}} + 273}{200 + 273},$$

где 200 – температура, °С, для которой составлена характеристика дымососа.

10. Расчетная мощность электродвигателя, кВт, для привода дымососа определяется по формуле

$$N_{\text{эд}} = \frac{\beta_{\text{м}} \cdot H_{\text{р.д}}^{\text{пр}} \cdot V_{\text{д}}}{1000 \cdot \eta_{\text{эд}}},$$

где $\beta_{\text{м}}$ – коэффициент запаса ($\beta_{\text{м}} = 1,05$); $\eta_{\text{эд}}$ – к. п. д. электродвигателя ($\eta_{\text{эд}} = 0,7 \div 0,8$).

Используя значения $V_{\text{д}}$ и $H_{\text{р.д}}^{\text{пр}}$, по прил. 4 необходимо подобрать марку дымососа и электродвигателя.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Аэродинамический расчет котельных установок (нормативный метод). – Л.: Энергия, 1977. – 256 с.
2. СНиП II-35–76*. Котельные установки. – М.: Стройиздат, 1998. – 45 с.
3. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов. – М.: НПО ОБТ, 1993. – 192 с.
4. Сергеев А.В. Справочное учебное пособие для персонала котельных. Тепломеханическое оборудование котельных. – СПб.: Издательство ДЕАН, 2002. – 256 с.

Дополнительная литература

5. СНиП 23-01–99*. Строительная климатология / Госстрой России. – М. : ГУП ЦПП, 2000. – 57 с.
6. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). – М.: Энергия, 1973. – 295 с.
7. <http://www.tayra.ru>.
8. Каталог продукции. Энергетическое оборудование. Тягодутьевые машины. Часть 3. – Новосибирский энергомашиностроительный завод «Тайра», 2010. – 145 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Геометрические размеры газоходов и воздухопроводов

Таблица П.1.1

**Нормируемые размеры круглых каналов
из листовой стали**

d , мм	Площадь поперечного сечения, м ²	Толщина стали δ , мм	d , мм	Площадь поперечного сечения, м ²	Толщина стали δ , мм
100	0,0079	0,5	630	0,312	0,6
125	0,0123	0,5	710	0,396	0,6
160	0,02	0,5	800	0,501	0,6
200	0,0314	0,5	900	0,635	0,7
250	0,0049	0,5	1000	0,785	1,0
315	0,0615	0,5	1120	0,985	1,0
355	0,099	0,5	1250	1,23	1,0
400	0,126	0,5	1400	1,54	1,2
450	0,159	0,5	1600	2,01	1,2
500	0,96	0,6	1800	2,54	1,4
560	0,246	0,6	2000	3,14	1,4

Примечание: Для каналов, по которым перемещается среда с температурой выше 80 °С, допускается применять листовую сталь толщиной 1,5 мм.

Таблица П.1.2

Размеры каналов из кирпича (боровов)

Внутренний размер, мм	Площадь поперечного сечения, м ²	Внутренний размер, мм	Площадь поперечного сечения, м ²
140×140	0,02	400×790	0,32
140×270	0,038	530×530	0,28
270×270	0,073	530×650	0,35
270×400	0,111	530×790	0,42
270×530	0,143	530×1060	0,56
400×400	0,16	650×650	0,43
400×530	0,21	650×790	0,52
400×650	0,26		

Окончание прил. 1

Таблица П.1.3

**Нормируемые размеры прямоугольных каналов
из листовой стали**

Внутренний размер, мм	Площадь поперечного сечения, м ²	Толщина стали δ, мм	Внутренний размер, мм	Площадь поперечного сечения, м ²	Толщина стали δ, мм
100×150	0,015	0,5	800×1200	0,96	0,7
150×150	0,0225	0,5	800×1600	1,28	0,7
150×250	0,0375	0,5	1000×1000	1,0	0,7
150×300	0,045	0,5	1000×1250	1,25	0,9
250×250	0,0625	0,5	1000×1600	1,6	0,9
250×300	0,075	0,7	1000×2000	2,0	0,9
250×400	0,1	0,7	1250×1250	1,56	0,9
250×500	0,125	0,7	1250×1600	2,0	0,9
400×400	0,16	0,7	1250×2000	2,5	0,9
400×500	0,2	0,7	1600×1600	2,56	0,9
400×600	0,24	0,7	1600×2000	3,2	0,9
400×800	0,32	0,7	2000×2000	4,0	0,9
500×500	0,25	0,7	2500×1200	3,0	1,4
500×600	0,3	0,7	2500×1600	4,0	1,4
500×800	0,4	0,7	2500×2000	5,0	1,4
500×1000	0,5	0,7	2500×2500	6,25	1,4
600×600	0,36	0,7	3200×1600	5,12	1,4
600×800	0,48	0,7	3200×2000	6,4	1,4
600×1000	0,6	0,7	3200×2500	8,0	1,4
600×1250	0,75	0,7	3200×3200	10,24	1,4
800×800	0,64	0,7	4000×2500	10,0	1,4
800×1000	0,8	0,7	4000×3200	12,8	1,4

Примечание: Для каналов, по которым перемещается среда с температурой выше 80 °С, допускается применять листовую сталь толщиной 1,5 мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

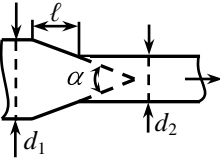
Рекомендации по выбору коэффициентов местных сопротивлений

Таблица П.2.1

Коэффициенты местных сопротивлений

№ пп	Наименование	Схема	Значение ξ
1	Вход в канал с прямыми кромками заподлицо со стенками		$\xi = 0,5$
2	Вход в канал с прямыми выступающими кромками		<p>При $\delta/d \approx 0$:</p> <p>для $a/d \geq 0,2$ — $\xi = 1,0$;</p> <p>для $0,05 < a/d < 0,2$ — $\xi = 0,85$</p> <p>При $\delta/d \geq 0,04$ — $\xi = 0,5$</p>
3	Вход в канал с закругленными кромками		<p>Для кромок заподлицо со стенкой при $r/d = 0,05$ — $\xi = 0,25$.</p> <p>Для выступающих кромок при $r/d = 0,05$ — $\xi = 0,4$.</p> <p>Для кромок заподлицо со стенкой и выступающих:</p> <p>при $r/d = 0,1$ — $\xi = 0,12$;</p> <p>при $r/d = 0,2$ — $\xi = 0$</p>
4	Патрубок для забора воздуха	Рис. 5, а, в	При отсутствии заслонки — $\xi = 0,2$; при наличии заслонки — $\xi = 0,3$
		Рис. 5, б	При отсутствии заслонки — $\xi = 0,1$; при наличии заслонки — $\xi = 0,2$

Продолжение прил. 2
Окончание табл. П.2.1

№ пп	Наименование	Схема	Значение ξ
5	Вход газов в дымовую трубу	Рис. 9, а	$\xi = 0,62$
		Рис. 9, б	$\xi = 0,7$
		Рис. 9, в	$\xi = 0,45$
6	Выход газов из дымовой трубы		$\xi = 1$
7	Конфузор в прямом канале		$\xi = 0$ при $\alpha < 20^\circ$; $\xi = 0,1$ при $\alpha = 20 \div 60^\circ$

Сопротивление золоуловителей

Коэффициент сопротивления инерционных (механических) золоуловителей рассчитывается по формуле

$$\xi_3 = k_1 \cdot k_2 \cdot \xi_{\text{эт.з}},$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий запыленность продуктов сгорания, принимается равным 1; k_2 – коэффициент, учитывающий масштабный эффект по отношению к эталонному циклону, принимается равным 1; $\xi_{\text{эт.з}}$ – коэффициент сопротивления эталонного циклона при продувке чистым воздухом, принимаемый по табл. П. 2.2.

Таблица П.2.2

Коэффициенты сопротивлений циклонов разных типов

Тип циклона	Коэффициент сопротивления
ЦН-11	245
ЦН-15	155
ЦН-24	75

Конструкция ЦКТИ	100
ЦМС-27	45
Д-49	33

Сопротивление поворотов

Коэффициент сопротивления для всех поворотов рассчитывается по формуле

$$\xi_{\text{пов}} = K_{\Delta} \cdot \xi_0 \cdot B \cdot C ,$$

где ξ_0 – исходный коэффициент сопротивления поворота, зависящий от его формы и относительной кривизны; K_{Δ} – коэффициент, учитывающий влияние шероховатости стенок; произведение $K_{\Delta} \cdot \xi_0$ для отводов и коленьев с закругленными кромками определяется по рис. П. 2.1. B – коэффициент, определяемый в зависимости от угла поворота по рис. П. 2.2, а. C – коэффициент, определяемый для отводов и коленьев с закруглением кромок в зависимости от отношения размеров поперечного сечения a/b (где a – перпендикулярный к плоскости поворота размер) по соответствующей кривой на рис. П. 2.2, б.

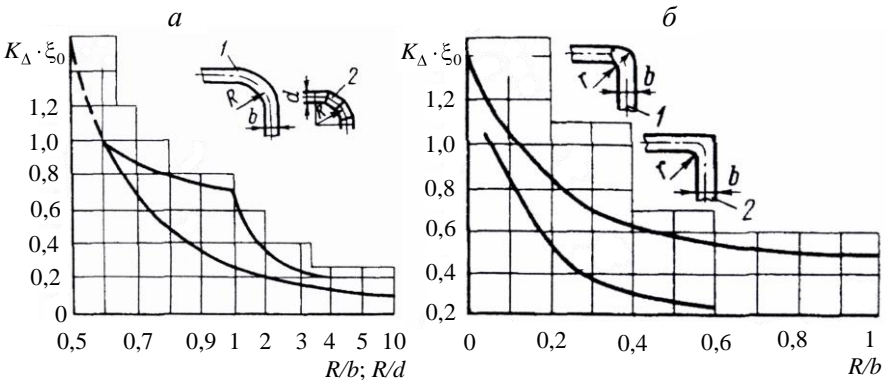


Рис. П. 2.1. Значения произведения $K_{\Delta} \cdot \xi_0$ для поворотов

газовоздухопроводов:

а – для отводов (1) и сварных коленьев (2); б – для коленьев с закругленными кромками; $1 - r_{\text{вн}} = r_{\text{н}} = r$; $2 - r_{\text{вн}} = r$, $r_{\text{н}} = 0$

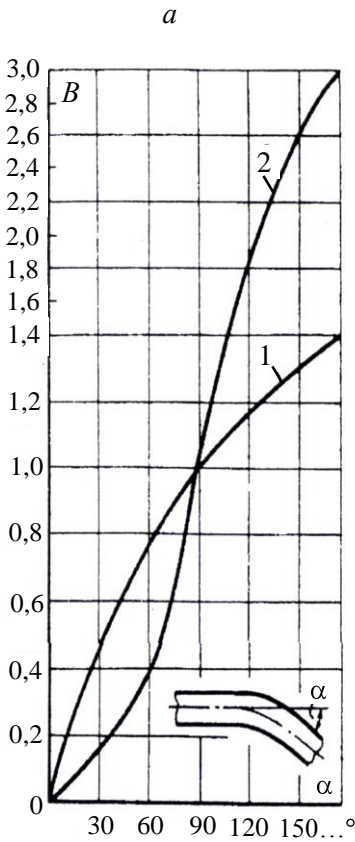


Рис. П. 2.2, *a*. Поправочный коэффициент B :

1 – для отводов и коленьев с закруглением кромок; 2 – для коленьев с острыми кромками

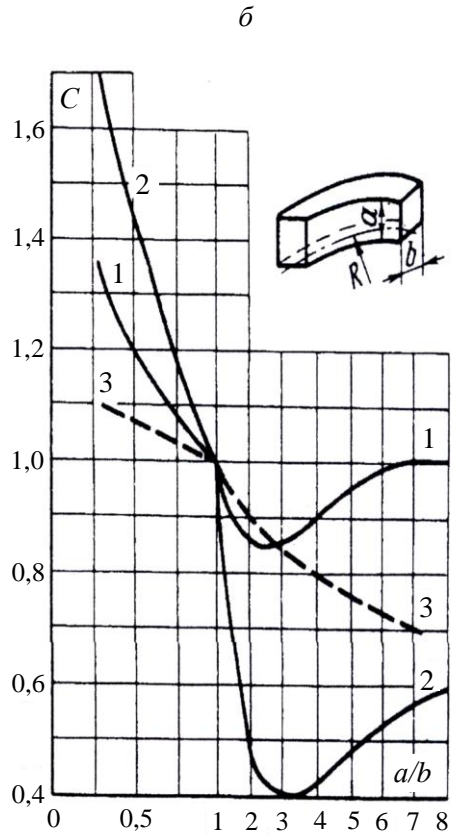


Рис. П. 2.2, *б*. Поправочный коэффициент C :

1 – для отводов с $R/b \leq 2,0$ и коленьев с закруглением кромок; 2 – для отводов с $R/b > 2,0$; 3 – для коленьев с острыми кромками

Для коленьев с изменением сечения произведение $K_{\Delta} \cdot \xi_0$ определяется по рис. П. 2.3 в зависимости от отношения выходного и входного сечений.

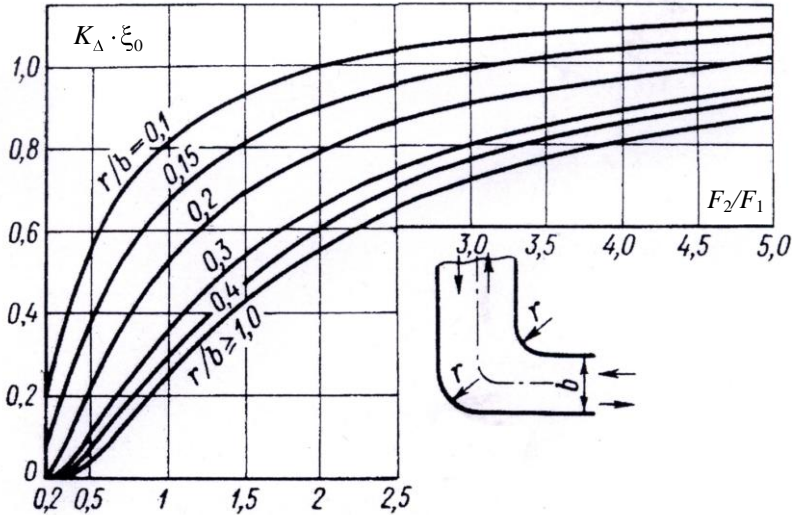


Рис. П. 2.3. Значения произведения $K_{\Delta} \cdot \xi_0$ для коленьев с закруглением кромок: F_1, F_2 – входное и выходное сечение колена

Сопротивление резких изменений сечения

Сопротивление участков газовоздушного тракта при резких изменениях сечения определяется по формулам

$$\Delta h_{\text{вх}} = \xi_{\text{вх}} \frac{w_2^2}{2} \rho; \quad \Delta h_{\text{вых}} = \xi_{\text{вых}} \frac{w_1^2}{2} \rho,$$

где $\xi_{\text{вх}}, \xi_{\text{вых}}$ – коэффициенты местных сопротивлений, определяемые по рис. П. 2.4.

Значения коэффициентов сопротивления всегда относятся к скорости в меньшем сечении.

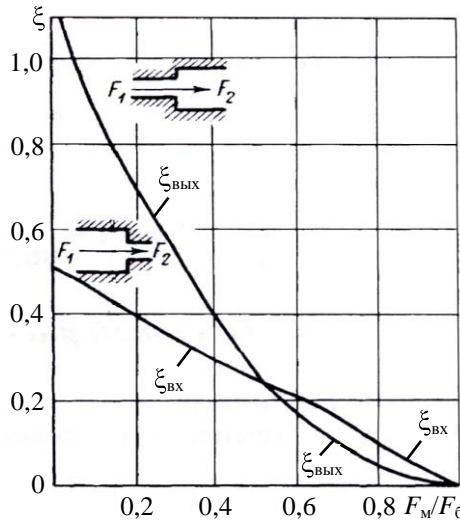


Рис. П. 2.4. Коэффициенты сопротивления при резком изменении сечения: F_M , F_6 – меньшее и большее сечения канала

Сопротивление диффузоров

Для диффузоров, находящихся в прямом канале, коэффициенты расширения φ_p , иначе называемые коэффициентами полноты удара, определяются по рис. П. 2.5 в зависимости от вида диффузора и его суммарного угла раскрытия. Пирамидальными названы диффузоры с прямоугольным или квадратным сечением и с расширением в обеих плоскостях. Для пирамидальных диффузоров с неравными углами раскрытия в обеих плоскостях за расчетный принимается больший угол.

Коэффициент сопротивления диффузора, отнесенный к входной (наибольшей) скорости, определяется по формуле

$$\xi_d = \varphi_p \cdot \xi_{\text{ВЫХ}},$$

где $\xi_{\text{вых}}$ – коэффициент сопротивления, соответствующий резкому увеличению сечения, определяемый по рис. П. 2.4.

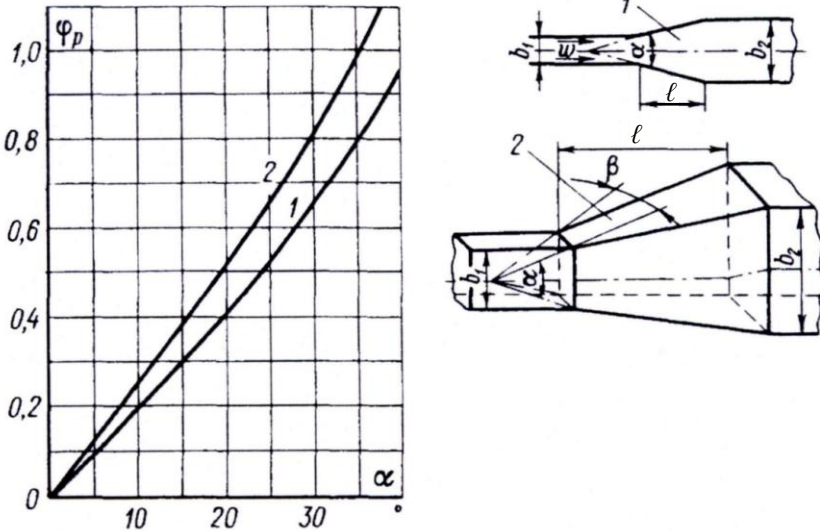


Рис. П. 2.5. Коэффициент сопротивления диффузора в прямом канале:

1 – конические и плоские диффузоры; 2 – пирамидальные диффузоры;

Угол раскрытия диффузора α определяется по формуле $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{b_2 - b_1}{2\ell}$. Для

пирамидальных диффузоров угол раскрытия определяется в плоскости, соответствующей грани. При неравных углах раскрытия (α и β) φ_p определяется по большему углу. Для диффузоров с переходом с круга на прямоуголь-

ник (или квадрат) и наоборот в формулу для определения $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$ вместо стороны прямоугольника подставляется значение $2\sqrt{F/\pi}$, где F – площадь прямоугольника; значение φ_p при этом определяется по кривой 2.

Коэффициент сопротивления плоского или пирамидального диффузора, установленного после вентилятора (дымососа), опре-

деляется по рис. П. 2.6 в зависимости от степени расширения диффузора и его безразмерной длины ℓ/b_1 .

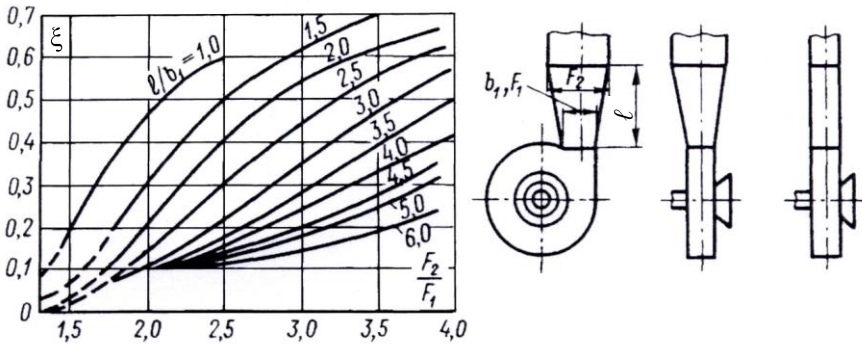


Рис. П. 2.6. Коэффициент сопротивления диффузоров, установленных за вентилятором или дымососом

Рекомендации по упрощению расчета сопротивлений

Для плавных отводов (R/b или $R/d \geq 0,9$) с углом поворота 90° при скоростях газов до 25 м/с, независимо от определяющих размеров газоходов $\xi = 0,3$.

Для колен с закруглением обеих кромок при $r/b \geq 0,3$ — $\xi = 0,3$.

Для сварных колен с $R/d \geq 1,5$ с углом поворота 90° при скоростях до 25 м/с — $\xi = 0,4$.

Сопротивления резких изменений сечений газоходов не более чем на 15 % ($F_2/F_1 \geq 0,85$) не учитываются.

Сопротивления плавных увеличений сечения (диффузоров) не более чем на 30 % ($F_2/F_1 \leq 1,3$) при любом соотношении сечений не учитываются.

Сопротивления плавных уменьшений сечения (конфузоров) с углами раскрытия $\alpha \leq 45^\circ$ при любом соотношении сечений не учитываются.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица П.3.1

Сопротивление отдельных элементов газового и воздушного трактов серийных паровых котлов

Тип котла	Топливо	Сопротивление элементов газового тракта, $\Delta h_{г.к}$, Па			Сопротивление воздушного тракта, $\Delta h_{в.к}$, Па
		Котельный пучок	Газоходы	Золоуловитель	
ДЕ-4-14	Газ, мазут	191	475	—	940
ДЕ-6,5-14		555	903	—	1140
ДЕ-10-14		220	1550	—	1240
ДЕ-16-14		916	1680	—	1730
ДЕ-25-14		1530	2710	—	1860
КЕ-2,5-14С	Уголь	167	300	590	1050
КЕ-4-14С		256	300	640	750
КЕ-6,5-14С		320	300	630	750
КЕ-10-14С		430	300	580	750

Таблица П.3.2

Сопротивление газового и воздушного трактов водогрейных котлов

Тип котла	Топливо	Суммарное сопротивление, Па	
		Газового тракта, $\Delta h_{г.к}$	Воздушного тракта, $\Delta h_{в.к}$
КВ-ГМ-4	Газ, мазут	220	1300
КВ-ГМ-6,5		260	1300
КВ-ГМ-10		460	1350
КВ-ГМ-20		600	1800
КВ-ГМ-30		670	2800
КВ-ТС-4	Уголь	360	600
КВ-ТС-6,5		440	600
КВ-ТС-10		670	650
КВ-ТС-20		870	650
КВ-ТС-30		960	650

Вентиляторы дутьевые и дымососы центробежные

Дутьевые вентиляторы ВД, ВДН(у) и дымососы Д, ДН(у) изготавливаются правого и левого направления вращения. Направление вращения рабочего колеса по часовой стрелке определяет вентилятор правого вращения, против часовой стрелки – левого вращения, если смотреть на вентилятор (дымосос) со стороны привода.

Вентиляторы рассчитаны на продолжительный режим работы в помещении и на открытом воздухе (вне помещения под навесом) в условиях умеренного климата (климатическое исполнение «У», категория размещения 2, ГОСТ 15150–69*).

Для долговечности дымососов типа ДН толщина стенок их улиток увеличена по сравнению с вентиляторами типа ВДН.

Номер вентилятора (дымососа) – это значение, соответствующее диаметру рабочего колеса, выраженное в дециметрах.

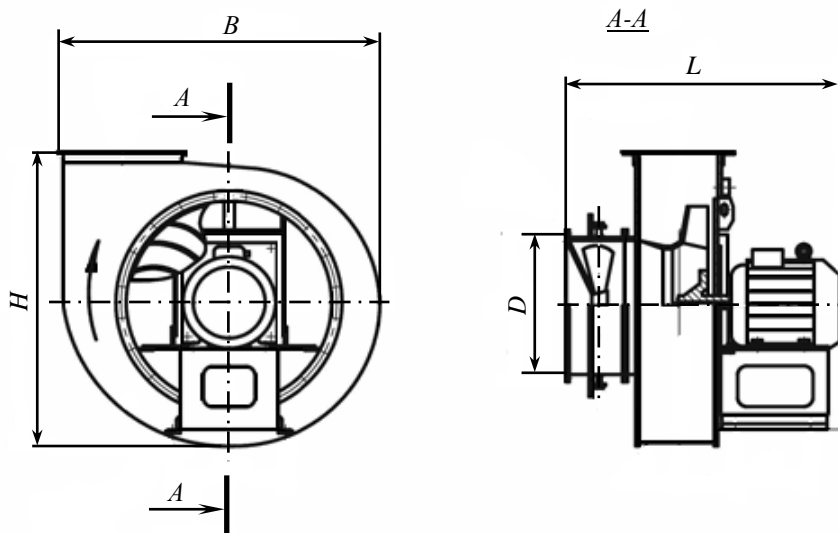


Рис. П. 4.1. Габаритные и присоединительные размеры тягодутьевых машин без ходовой части типа ВДН(у), ДН(у) № 6,3 – 13

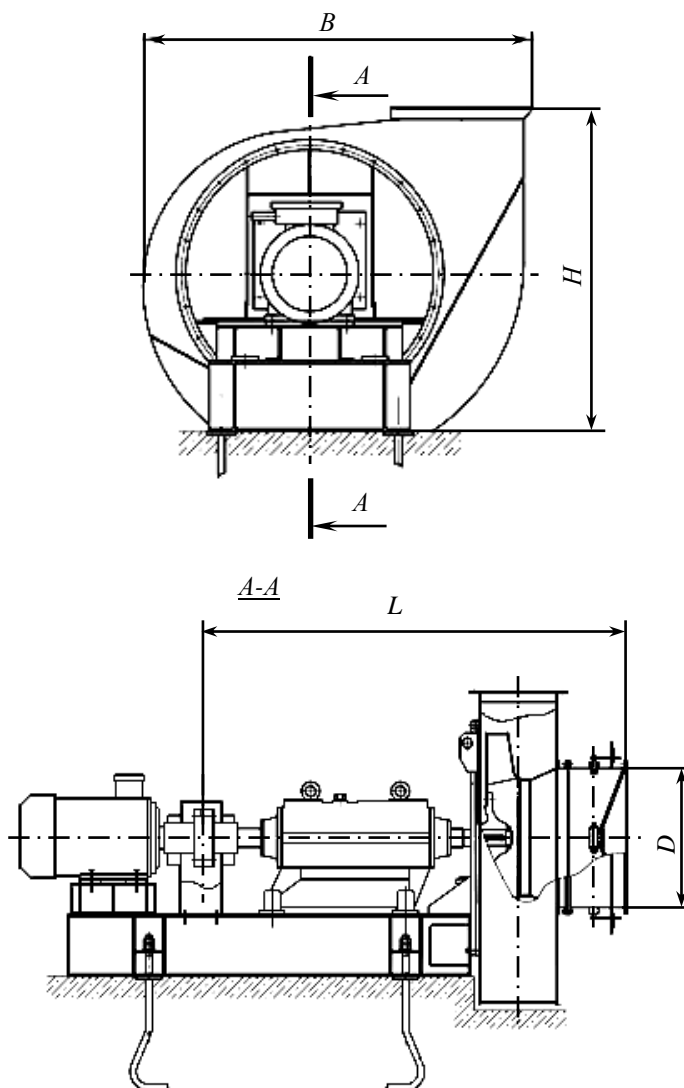


Рис. П. 4.2. Габаритные и присоединительные размеры тягодутьевых машин с ходовой частью типа ВДН(у), ДН(у) № 8 – 13

**Габаритные размеры дутьевых вентиляторов и дымососов типа
ВДН(у), ДН(у) № 6,3÷13 без ходовой части [6]**

Типоразмер	Длина, <i>L</i> , мм	Ширина, <i>B</i> , мм	Высота, <i>H</i> , мм	Диаметр, <i>D</i> , мм
ВДН-6,3 ДН-6,3у	840	1058	1100	378
ВДН-8у ДН-8у	1100	1325	1208	530
ВДН-9у ДН-9у	1180	1485	1350	530
ВДН-10у ДН-10у	1360	1660	1508	663
ВДН-11,2у ДН-11,2у	1520	1835	1660	663
ВДН-12,5у ДН-12,5у	1750	2040	1850	830
ВДН-13 ДН-13	1731	2150	1900	830

**Габаритные размеры дутьевых вентиляторов и дымососов типа
ВДН(у), ДН(у) № 8÷13 с ходовой частью [6]**

Типоразмер	Длина (без эл. двигат.), <i>L</i> , мм	Ширина, <i>B</i> , мм	Высота, <i>H</i> , мм	Диаметр, <i>D</i> , мм
ВДН-8у ДН-8у	1662	1325	1208	530
ВДН-9у ДН-9у	1739	1485	1350	530
ВДН-10у ДН-10у	1819,5	1660	1508	663
ВДН-11,2у ДН-11,2у	1875	1835	1660	663
ВДН-12,5у ДН-12,5у	2014	2040	1850	830
ВДН-13у ДН-13у	2407	2150	1900	830

Технические характеристики дутьевых вентиляторов [7]

Тип вентилятора	Производи- тельность, м ³ /с	Напор, Па, при $t_{\text{в}} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	КПД, %	Тип электро- двигателя	Мощность, кВт	Масса, кг
Без ходовой части						
ВДН-6,3	0,94	625	83	АИРХМ132S6	5,5	415
	1,42	1380		АИРХМ132S4	7,5	431
ВДН-8у	1,86	970	83	АИР160S6	11	527
	2,88	2230		АИР160S4	15	522
ВДН-9у	2,64	1220	83	АИР160S6	11	574
	4,17	2860		АИР160S4	15	569
ВДН-10у	3,64	1520	83	АИР160S6	11	663
	5,67	3450		А180M4	30	723
ВДН-11,2у	5,28	1920	83	А200M6	22	986
	7,97	4440		А200L4	45	1026
ВДН-12,5у	7	2360	83	А200L6	30	1129
	11,1	5500		А250S4	75	1354
ВДН-13	8,31	2630	83	А280M6	90	1101
	12,47	5950		А280M4	132	1122
С ходовой частью						
ВДН-15	13,8	3700	83	А280S6	75	2513
	21,7	8200		АИР355S4	250	(без эл. двиг.)
ВДН-17	20,83	3800	83	АИР355S6	160	2760
	30,56	10900		ДА304-450Х-4	630	(без эл. двиг.)

Технические характеристики дымососов [7]

Тип дымососа	Производи- тельность, м ³ /с	Напор, Па, при <i>t_r</i> = 200 °С	КПД, %	Тип электро- двигателя	Мощность, кВт	Масса, кг
Без холодовой части						
ДН-6,3у	0,94	390	83	АИРХМ132S6	5,5	420
	1,42	880		АИРХМ132S4	7,5	422
ДН-8у	1,92	630	83	АИР160S6	11	527
	2,88	1430		АИР160S4	15	522
ДН-9у	2,75	800	83	АИР160S6	11	574
	3,89	1810		АИР160S4	15	577
ДН-10у	3,78	990	83	АИР160S6	11	663
	5,67	2230		А180M4	30	723
ДН-11,2у	5,3	1240	83	А200M6	22	986
	7,97	2810		А200L4	45	1026
ДН-12,5у	7,39	1550	83	А200L6	30	1129
	11,08	3510		А250S4	75	1354
ДН-13	11,1	1450	83	А280M6	90	1101
	16,67	3270		А280M4	132	1122
С холодовой частью						
ДН-15	15,27	3000	83	А280S6	75	2900
	21,5	7000		АИР355S4	250	(без эл. двиг.)
ДН-17	21,7	3900	83	АИР355S6	160	3100
	34,72	8800		ДА304-450X-4	400	(без эл. двиг.)