

Трубы дымовые

**МЕТОДЫ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО
И АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА**

Часть 1. Дымовые трубы, обслуживающие одно устройство

Трубы дымавыя

**МЕТАДЫ ЦЕПЛАТЭХНІЧНАГА
І АЭРАДЫНАМІЧНАГА РАЗЛІКУ**

Частка 1. Дымавыя трубы, абслугоўваючыя адно ўстройства

(EN 13384-1:2002, IDT)

Настоящий государственный стандарт СТБ EN 13384-1-2012 идентичен EN 13384-1:2002+A1:2002+A2:2008 и воспроизведен с разрешения CEN/CENELEC, Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. Все права по использованию европейских стандартов в любой форме и любым способом сохраняются во всем мире за CEN/CENELEC и его национальными членами, и их воспроизведение возможно только при наличии письменного разрешения CEN/CENELEC в лице Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь

Издание официальное



Ключевые слова: труба дымовая; дымовая труба, обслуживающая одно устройство; теплотехнический расчет, аэродинамический расчет

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

1 ПОДГОТОВЛЕН научно-проектно-производственным республиканским унитарным предприятием «Стройтехнорм» (РУП «Стройтехнорм»), РУП «Институт БелНИИС»

ВНЕСЕН Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 13 декабря 2012 г. № 79

В Национальном комплексе технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства настоящий стандарт входит в блок 5.04 «Металлические конструкции и изделия»

3 Настоящий стандарт идентичен европейскому стандарту EN 13384-1:2002 Chimneys — Thermal and fluid dynamic calculation method. Chimneys serving one appliance (Трубы дымовые. Методы теплотехнического и аэродинамического расчета. Часть 1. Дымовые трубы, обслуживающие одно устройство), включая изменение A1:2002 и изменение A2:2008.

Европейский стандарт разработан техническим комитетом по стандартизации CEN/TC 166 «Вытяжные трубы» Европейского комитета по стандартизации (CEN).

Перевод с английского языка (en).

Официальные экземпляры европейского стандарта, на основе которого подготовлен настоящий государственный стандарт, и европейских стандартов, на которые даны ссылки, имеются в Национальном фонде ТНПА.

Текст изменений и поправки к европейскому стандарту выделены в тексте двойной вертикальной линией на полях слева (четные страницы) и справа (нечетные страницы) от соответствующего текста.

В разделе «Нормативные ссылки» и тексте стандарта ссылочные европейские стандарты актуализированы.

Сведения о соответствии государственных стандартов ссылочным европейским стандартам приведены в дополнительном приложении Д.А.

Степень соответствия — идентичная (IDT)

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© Госстандарт, 2014

Настоящий стандарт не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта Республики Беларусь

Содержание

1	Область применения.....	1
2	Нормативные ссылки.....	1
3	Термины и определения.....	2
4	Обозначения, наименования и единицы измерения.....	4
5	Методика вычисления несбалансированных дымовых труб (Измененная редакция, А1:2002)	8
5.1	Общие принципы.....	8
5.2	Требования по давлению.....	8
5.3	Требования по температуре.....	9
5.4	Методика расчета.....	10
5.5	Параметры характеристики дымовых газов отопительного устройства (Измененная редакция, А1:2002)	11
5.6	Расчетные параметры характеристики.....	13
5.7	Основные расчетные величины.....	13
5.8	Определение температур.....	16
5.9	Определение плотности дымовых газов и скорости дымовых газов.....	18
5.10	Определение давлений.....	19
5.11	Минимально необходимая тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу и максимально возможная тяга (P_{Ze} и P_{Zemax}), максимальный и минимальный перепады на входе дымовых газов в дымовую трубу (P_{ZOe} и P_{ZOemin}) (Измененная редакция, А2:2008)	21
5.12	Расчет температуры внутренней поверхности на выходе из дымовой трубы T_{iob}	24
6	Вторичный воздух для дымовых труб отрицательного давления.....	25
6.1	Общие положения.....	25
6.2	Методика расчета.....	25
6.3	Основные параметры для расчета вторичного воздуха.....	26
6.4	Давление.....	27
6.5	Требование по температуре с учетом вторичного воздуха.....	29
7	Методика расчета сбалансированной дымовой трубы (Измененная редакция, А1:2002)	29
7.1	Общие принципы.....	29
7.2	Требования по давлению.....	30
7.3	Требования по температуре.....	30
7.4	Методика расчета.....	30
7.5	Параметры характеристики дымовых газов отопительного устройства.....	30
7.6	Расчетные параметры характеристики.....	31
7.7	Основные вычисляемые значения.....	31
7.8	Определение температур.....	31

7.9	Определение плотности и скорости	45
7.10	Определение давлений	46
7.11	Минимально необходимая тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу, и максимально возможная тяга (Pz_e и Pz_{emax}), а также максимальный и минимальный перепад давления на входе дымовых газов в дымовую трубу (Pzo_e и Pzo_{emin})	47
	(Измененная редакция, А2:2008)	
7.12	Вычисление температуры внутренней поверхности на выходе из дымовой трубы T_{job}	49
8	Учет теплоты конденсации водяного пара из дымовых газов	49
8.1	Общие положения	49
8.2	Возникновение конденсации	50
8.3	Расчет температуры дымовых газов на выходе из отрезка дымовой трубы ($j \geq N_{seg}K$) с учетом конденсации	52
	Приложение А (справочное) Вычисление термического сопротивления	56
	Приложение В (справочное) Таблицы	57
	Приложение С (справочное) Расположение выхода дымовой трубы относительно близлежащих строений	68
	Приложение D (справочное) Предельные кривые классификации для регулятора тяги	69
	Приложение E (справочное) Определение газовой постоянной R с учетом конденсации	70
	(Измененная редакция, А1:2002)	
	Библиография	71
	Приложение Д.А (справочное) Сведения о соответствии государственных стандартов ссылочным европейским стандартам	72

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Трубы дымовые
МЕТОДЫ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО И АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА
Часть 1. Дымовые трубы, обслуживающие одно устройство

Трубы дымавыя
МЕТАДЫ ЦЕПЛАТЭХНІЧНАГА І АЭРАДЫНАМІЧНАГА РАЗЛІКУ
Частка 1. Дымавыя трубы, абслугоўваючыя адно ўстройства

Chimneys
Thermal and fluid dynamic calculation methods
Part 1. Chimneys serving one appliance

Дата введения 2013-09-01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методики вычисления теплотехнических и аэродинамических характеристик дымовых труб, обслуживающих одно устройство.

Методики в настоящей части стандарта применимы к дымовым трубам отрицательного или положительного давления для сухих или влажных условий эксплуатации. Стандарт применим к дымовым трубам с отопительными устройствами при условии, что для топлива известны характеристики дымовых газов, используемые в вычислениях.

Методики в настоящей части стандарта применимы к дымовым трубам с одним входным отверстием, к которому подсоединено одно устройство.

Методики во второй части стандарта применимы как к дымовым трубам со множеством входных отверстий, так и к дымовым трубам с одним входным отверстием, к которому присоединено множество устройств. В третьей части приведены методики разработки диаграмм и таблиц для дымовых труб, обслуживающих одно отопительное устройство.

(Измененная редакция, А1:2005)

2 Нормативные ссылки

Для применения настоящего стандарта необходимы следующие ссылочные документы. Для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного документа, для недатированных ссылок применяют последнее издание ссылочного документа (включая все его изменения).

EN 1443:2003 Трубы дымовые. Общие требования

(Измененная редакция, А2:2008)

EN 1856-1:2009 Трубы дымовые. Требования к металлическим дымовым трубам. Часть 1. Детали дымовых труб

(Измененная редакция, А1:2002)

EN 1859:2009 Трубы дымовые. Металлические дымовые трубы. Методы испытаний

EN 13502:2002 Трубы дымовые. Требования и методы испытаний глиняных и керамических оголовков дымовых труб

CEN/TR 1749:2009 Европейская схема классификации газовых аппаратов по способу удаления продуктов сгорания (типы).

(Измененная редакция, А2:2008)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применяют термины, установленные в EN 1443:2003, а также следующие термины с соответствующими определениями:

(Измененная редакция, А2:2008)

3.1 тепловая мощность Q (heat output): Количество теплоты, производимой отопительным устройством в единицу времени.

3.1.1 номинальная тепловая мощность Q_N (nominal heat output): Постоянная тепловая мощность, установленная изготовителем отопительного устройства для определенного вида топлива.

3.1.2 диапазон тепловой мощности (heat output range): Совокупность значений тепловой мощности ниже номинального значения, установленная изготовителем, при которых устройство можно использовать.

3.2 подводимая теплота Q_F (heat input): Количество теплоты, подводимое к отопительному устройству, образующееся в результате сжигания топлива в единицу времени, исходя из его нижней теплотворной способности H_U .

3.3 эффективность отопительного устройства η_w (efficiency of the heating appliance): Отношение тепловой мощности устройства Q к подводимой теплоте Q_F .

3.4 массовый поток дымовых газов \dot{m} (flue gas mass flow): Масса дымовых газов, отводимых от отопительного устройства через присоединительный дымоотвод в единицу времени.

3.5 эффективная высота дымовой трубы H (effective height of the chimney): Разность высот между осью входа дымовых газов в дымовую трубу и выходом из дымовой трубы.

3.6 эффективная высота присоединительного дымоотвода H_v (effective height of the connecting flue pipe): Разность высот между осью выхода дымовых газов из отопительного устройства и осью входа дымовых газов в дымовую трубу.

В случае дымовых труб для открытого огня, H_v — разность высот, на которых расположены верхняя рама топки и ось входа дымовых газов в дымовую трубу.

3.7 тяга (draught): Значение абсолютной величины отрицательного давления в дымовом канале.

3.8 теоретическая тяга вследствие эффекта дымовой трубы P_H (theoretical draught available due to chimney effect): Разность давлений, вызванная разностью в весе между столбом воздуха, равным эффективной высоте наружной части дымовой трубы и столбом дымовых газов, равным эффективной высоте внутренней части дымовой трубы.

3.9 сопротивление дымовой трубы P_R (pressure resistance of the chimney): Давление, необходимое для преодоления сопротивления массовому потоку дымовых газов, которое возникает при прохождении дымовых газов через дымовую трубу.

3.10 ветровое давление P_L (wind velocity pressure): Давление на дымовую трубу, создаваемое ветром.

3.11 минимальная тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу P_Z (minimum draught at the flue gas inlet into the chimney): Разность между минимальной теоретической тягой и суммой максимального сопротивления дымовой трубы и ветрового давления.

3.12 максимальная тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу P_{Zmax} (maximum draught at the flue gas inlet into the chimney): Разность между максимальной теоретической тягой и минимальным сопротивлением дымовой трубы.

(Измененная редакция, А2:2008)

3.13 минимальная тяга для отопительного устройства P_w (minimum draught for the heating appliance): Разность между статическим давлением воздуха в помещении, где установлено отопительное устройство, и статическим давлением дымовых газов на выходе из присоединенной к нему дымовой трубы, которая необходима для поддержания бесперебойной работы отопительного устройства.

3.14 максимальная тяга для отопительного устройства P_{wmax} (maximum draught for the heating appliance): Максимальная разность между статическим давлением воздуха в помещении, где установлено отопительное устройство, и статическим давлением дымовых газов на выходе из устройства, которая допускается для поддержания бесперебойной работы отопительного устройства.

(Измененная редакция, А2:2008)

3.15 сопротивление присоединительного дымоотвода P_{FV} (effective pressure resistance of the connecting flue pipe): Перепад статического давления между осью входа в присоединительный дымоотвод и осью выхода из дымовой трубы, существующий вследствие действия теоретической тяги и сопротивления.

3.16 сопротивление притоку воздуха P_B (effective pressure resistance of the air supply): Разность между статическим давлением наружного воздуха и статическим давлением воздуха на той же высоте в помещении, в котором установлено отопительное устройство.

3.17 минимально необходимая тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу P_{Ze} (minimum draught required at the flue gas inlet into the chimney): Сумма минимальной тяги для отопительного устройства и тяги, необходимой для преодоления сопротивления присоединительного дымоотвода и сопротивления притоку воздуха.

(Измененная редакция, А2:2008)

3.18 максимально допустимая тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу P_{Zemax} (maximum allowed draught at the flue gas inlet into the chimney): Сумма допустимой максимальной тяги для отопительного устройства и тяги, необходимой для преодоления сопротивления присоединительного дымоотвода и сопротивления притоку воздуха.

(Измененная редакция, А2:2008)

3.19 максимальное положительное давление на входе дымовых газов в дымовую трубу P_{Zo} (maximum positive pressure at the flue gas inlet into the chimney): Сумма ветрового давления и разности между максимальным сопротивлением и минимальной теоретической тягой дымовой трубы.

(Измененная редакция, А2:2008)

3.20 минимальное положительное давление на входе дымовых газов в дымовую трубу P_{Zomin} (minimum positive pressure at the flue gas inlet into the chimney): Разность между минимальным сопротивлением и максимальной теоретической тягой дымовой трубы.

(Измененная редакция, А2:2008)

3.21 максимальный перепад давления отопительного устройства P_{Wo} (maximum differential pressure of the heating appliance): Максимальная разность между статическим давлением дымовых газов на выходе из отопительного устройства и статическим давлением воздуха на входе в отопительное устройство, установленная для его бесперебойной работы.

3.22 минимальный перепад давления отопительного устройства P_{Womin} (minimum differential pressure of the heating appliance): Минимальная разность между статическим давлением дымовых газов на выходе из отопительного устройства и статическим давлением воздуха на входе в отопительное устройство, установленная для его бесперебойной работы. Это значение может быть отрицательным.

(Измененная редакция, А2:2008)

3.23 максимальный перепад давления на входе дымовых газов в дымовую трубу P_{Zoe} (maximum differential pressure at the gas inlet into the chimney): Разность между максимальным перепадом давлений отопительного устройства и суммой сопротивления присоединительного дымоотвода и сопротивления притоку воздуха.

3.24 вторичный воздух (secondary air): Окружающий воздух, дополнительно добавляемый к номинальному массовому потоку дымовых газов.

3.25 минимальный перепад давления на входе дымовых газов в дымовую трубу P_{ZOemin} (minimum differential pressure at the flue gas inlet into the chimney): Разность между минимальным перепадом давления отопительного устройства и суммой сопротивления присоединительного дымоотвода и сопротивления притоку воздуха.

(Измененная редакция, А2:2008)

3.26 устройство для вторичного воздуха (secondary air device): Регулятор тяги или тягопрерыватель.

3.27 регулятор тяги (draught regulator): Устройство, которое автоматически подает окружающий воздух в дымовую трубу, присоединительный дымоотвод или отопительное устройство.

3.28 тягопрерыватель (draught diverter): Устройство, установленное в канале для продуктов сгорания отопительного устройства, предназначенное для поддержания качества горения в определенных пределах и обеспечения стабильности горения в определенных условиях при увеличении или уменьшении тяги.

3.29 предельная температура внутренней поверхности T_g (temperature limit of the inner wall): Допустимая минимальная температура внутренней поверхности на выходе из дымовой трубы.

3.30 дымовоздушная система (air-flue gas system): Система коаксиальных или некоаксиальных каналов, предназначенная для подачи наружного воздуха на горение к отопительному устройству и отвода продуктов сгорания от отопительного устройства в атмосферу.

(Измененная редакция, А2:2008)

3.31 канал приточного воздуха (air-supply duct): Элемент(-ы), параллельный дымовой трубе (обособленной или коаксиальной), по которому(-ым) воздух на горение из наружной среды поступает в присоединительный воздуховод.

3.32 сбалансированная дымовая труба (balanced flue chimney): Дымовая труба, в которой вход воздуха в приточный канал расположен рядом с выходом продуктов сгорания из дымового канала, причем вход и выход располагаются таким образом, чтобы воздействие ветра было в основном сбалансировано.

3.33 отрезок дымовой трубы (chimney segment): Вычисляемый участок дымовой трубы.

3.34 массовый поток конденсата $\Delta \dot{m}_D$ (condensate mass flow): Масса водяного пара, которая сконденсировалась из дымовых газов в отопительном устройстве, присоединительном дымоотводе или в дымовой трубе в единицу времени.

3.35 присоединительный приточный воздуховод (connecting air supply pipe): Элемент(-ы), соединяющий выход канала приточного воздуха со входом в отопительное устройство с закрытой камерой сгорания, который(-ые) предназначен(-ы) для приточного воздуха.

3.36 коэффициент конденсации f_k (condensation factor): Часть теоретически возможного максимального массового потока конденсата, используемая в вычислениях.

(Измененная редакция, А2:2008)

4 Обозначения, наименования и единицы измерения

Обозначения, приведенные в настоящем разделе, при необходимости, могут быть дополнены одним или несколькими индексами для указания места расположения или материалов.

Таблица 1 — Обозначения, наименования и единицы измерения

Условное обозначение	Наименование	Единица измерения
A	Площадь поперечного сечения	m^2
c	Удельная теплоемкость	Дж/(кг·К)
c_p	Удельная теплоемкость дымовых газов	Дж/(кг·К)
d	Толщина секции	м
D	Диаметр	м
D_h	Гидравлический диаметр	м
H	Эффективная высота дымовой трубы	м
k	Коэффициент теплопередачи	Вт/($m^2 \cdot K$)
K	Коэффициент охлаждения	—
L	Длина	м
\dot{m}	Массовый поток дымовых газов	кг/с
Nu	Число Нуссельта	—
p	Статическое давление	Па
p_L	Давление наружного воздуха	Па
P_B	Соппротивление притоку воздуха в поток дымовых газов	Па
P_E	Соппротивление вследствие трения и формы дымовой трубы	Па
P_{FV}	Соппротивление присоединительного дымоотвода	Па
P_G	Перепад давления, вызванный изменением скорости дымовых газов в дымовой трубе	Па
P_H	Теоретическая тяга вследствие эффекта дымовой трубы	Па
P_{HV}	Теоретическая тяга вследствие эффекта дымовой трубы в присоединительном дымоотводе	Па
P_L	Ветровое давление	Па
P_{NL}	Тяга, необходимая для устройств вторичного воздуха	Па
P_R	Соппротивление дымовой трубы	Па

Продолжение таблицы 1

Условное обозначение	Наименование	Единица измерения
P_{RV}	Соппротивление присоединительного дымоотвода	Па
P_W	Минимальная тяга отопительного устройства	Па
P_{Wmax}	Максимальная тяга отопительного устройства (Измененная редакция, А2:2008)	Па
P_{WO}	Максимальный перепад давления отопительного устройства	Па
P_{Womin}	Минимальный перепад давления отопительного устройства	Па
P_Z	Минимальная тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу	Па
P_{Zmax}	Максимальная тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу (Измененная редакция, А2:2008)	Па
P_{Ze}	Минимально необходимая тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу (Измененная редакция, А2:2008)	Па
P_{Zemax}	Максимально допустимая тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу (Измененная редакция, А2:2008)	Па
P_{ZO}	Максимальное положительное давление на входе дымовых газов в дымовую трубу (Измененная редакция, А2:2008)	Па
P_{ZOmin}	Минимальное положительное давление на входе дымовых газов в дымовую трубу (Измененная редакция, А2:2008)	Па
P_{ZOe}	Максимальный перепад давления на входе дымовых газов в дымовую трубу	Па
P_{ZOemin}	Минимальный перепад давления на входе дымовых газов в дымовую трубу (Измененная редакция, А2:2008)	Па
Pr	Число Прандтля	—
Q	Тепловая мощность	кВт
q_c	Теплопередача от дымового канала к наружной поверхности (Измененная редакция, А1:2002)	К
Q_F	Подводимая теплота	кВт
Q_N	Номинальная тепловая мощность	кВт
r	Среднее значение шероховатости внутренней поверхности	м
R	Газовая постоянная дымовых газов	Дж/(кг·К)
R_L	Газовая постоянная воздуха	Дж/(кг·К)
Re	Число Рейнольдса	—
s	Поперечное сечение	м
S_E	Коэффициент стабильности потока (Измененная редакция, А2:2008)	—

Продолжение таблицы 1

Условное обозначение	Наименование	Единица измерения
S_H	Поправочный коэффициент на нестабильность температуры	—
t	Температура	°C
T	Абсолютная температура	К
T_g	Предельная температура	К
T_{io}	Температура внутренней поверхности на выходе из дымовой трубы	К
T_{iob}	Температура внутренней поверхности на выходе из дымовой трубы при температуре равновесия	К
T_L	Температура наружного воздуха	К
T_m	Средняя температура дымовых газов	К
T_p	Точка росы для воды	К
T_{sp}	Температура конденсации	К
T_u	Температура окружающего воздуха	К
T_{ub}	Температура окружающего воздуха в топочной	К
T_{uh}	Температура окружающего воздуха в отапливаемых зонах	К
T_{uo}	Температура окружающего воздуха на выходе дымовой трубы	К
T_{ul}	Температура окружающего воздуха в зонах, расположенных вне здания	К
T_{uu}	Температура окружающего воздуха в неотапливаемых зонах, расположенных внутри дома	К
T_W	Температура дымовых газов устройства	К
T_{WN}	Температура дымовых газов устройства при номинальной тепловой мощности	К
T_{Wmin}	Температура дымовых газов устройства при наименьшей из возможных тепловой мощности	К
U	Внутренний параметр сегмента дымовой трубы	м
w	Средняя по поперечному сечению скорость	м/с
w_m	Средняя по установленной длине скорость	м/с
y	Показатель формы	—
z	Высота над уровнем моря	м
α	Коэффициент теплообмена	Вт/(м ² ·К)
β	Отношение массового потока воздуха на горение к массовому потоку дымовых газов	—
γ	Угол между направлениями потоков	...°
δ	Толщина слоя	м
ζ	Коэффициент сопротивления вследствие изменения направления и (или) поперечного сечения дымового канала, и (или) массового потока в дымовом канале	—

Окончание таблицы 1

Условное обозначение	Наименование	Единица измерения
η	Динамическая вязкость	Н·с/м ²
η_w	Эффективность отопительного устройства	—
η_{wn}	Эффективность отопительного устройства при номинальной тепловой мощности	—
λ	Коэффициент теплопроводности	Вт/(м·К)
ρ	Плотность	кг/м ³
ρ_L	Плотность наружного воздуха	кг/м ³
ρ_m	Средняя по установленной длине и по поперечному сечению плотность дымовых газов	кг/м ³
$\sigma(\text{CO}_2)$	Объемная концентрация CO ₂	%
$\sigma(\text{H}_2\text{O})$	Объемная концентрация H ₂ O (пар)	%
σ_{Rad}	Коэффициент излучения абсолютно черного тела (Измененная редакция, А1:2002)	Вт/(м ² ·К ⁴)
ψ	Коэффициент сопротивления вследствие трения в дымовом канале	—
$\frac{1}{\Lambda}$	Термическое сопротивление	м ² ·К/Вт

Таблица 2 — Дополнительные подстрочные индексы

Подстрочный индекс	Наименование	Единица измерения
<i>a</i>	Снаружи	—
<i>A</i>	Дымовые газы	—
<i>b</i>	Условие равновесия по температуре	—
<i>B</i>	Воздух на горение	—
<i>e</i>	Вход	—
<i>G</i>	Изменение скорости	—
<i>i</i>	Внутри	—
<i>L</i>	Наружная атмосфера (снаружи)	—
<i>m</i>	Среднее значение	—
<i>M</i>	Смесь	—
<i>n</i>	Порядковый номер	—
<i>N</i>	Номинальное значение	—
<i>NL</i>	Вторичный воздух	—
<i>o</i>	Выход из дымовой трубы	—
<i>O</i>	Положительное давление	—
<i>tot</i>	Суммарный по всем элементам (отрезкам)	—

Окончание таблицы 2

Подстрочный индекс	Наименование	Единица измерения
<i>u</i>	Окружающий воздух	—
<i>V</i>	Присоединительный дымоотвод	—
<i>W</i>	Отопительное устройство	—

5 Методика вычисления несбалансированных дымовых труб

(Измененная редакция, А1:2002)

5.1 Общие принципы

Вычисления внутренних размеров (поперечного сечения) дымовых труб отрицательного давления основаны на следующих условиях:

(Измененная редакция, А2:2008)

— минимальная тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу должна быть больше или равна минимально необходимой тяге на входе дымовых газов в дымовую трубу;

— минимальная тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу должна быть больше или равна сопротивлению притока воздуха;

— максимальная тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу должна быть меньше или равна максимально допустимой тяге на входе дымовых газов в дымовую трубу;

— температура внутренней поверхности на выходе дымовой трубы должна быть больше или равна предельной температуре.

Вычисления внутренних размеров (поперечного сечения) дымовых труб положительного давления основаны на следующих условиях:

— максимальное положительное давление на входе дымовых газов в дымовую трубу должно быть меньше или равно максимальному перепаду давлений на входе дымовых газов в дымовую трубу;

— максимальное положительное давление в присоединительном дымоотводе и в дымовой трубе не должно превышать избыточное давление, на которое они рассчитаны;

— минимальное положительное давление на входе дымовых газов в дымовую трубу должно быть больше или равно минимальному перепаду давлений на входе дымовых газов в дымовую трубу;

— температура внутренней поверхности на выходе из дымовой трубы должна быть больше или равна предельной температуре.

Примечание — Требования к максимальной тяге или минимальному положительному давлению обязательны только в том случае, если существует верхний предел для тяги в отопительных устройствах, работающих в условиях отрицательного давления, или нижний предел для перепада давлений в отопительных устройствах, работающих в условиях положительного давления.

Для контроля выполнения указанных требований используют два внешних условия:

— минимальную тягу и максимальное положительное давление вычисляют для условий, когда тепловая нагрузка на дымовую трубу является минимальной (т. е. высокая наружная температура);

— максимальную тягу и минимальное положительное давление, а также температуру внутренней поверхности вычисляют для условий, когда температура внутри дымовой трубы является минимальной (т. е. низкая наружная температура).

(Измененная редакция, А2:2008)

5.2 Требования по давлению

5.2.1 Дымовые трубы отрицательного давления

Должны выполняться следующие соотношения:

$$P_z = P_H - P_R - P_L \geq P_W + P_{FV} + P_B = P_{ze}, \quad (1)$$

$$P_z \geq P_B, \quad (2)$$

$$P_{zmax} = P_H - P_R \leq P_{Wmax} + P_{FV} + P_B = P_{zemax}, \quad (2a)$$

(Измененная редакция, А2:2008)

где P_B — сопротивление притоку воздуха (5.11.3), Па;
 P_{FV} — сопротивление присоединительного дымоотвода, Па;
 P_H — теоретическая тяга вследствие «эффекта дымовой трубы», Па;
 P_L — ветровое давление, Па;
 P_R — сопротивление дымовой трубы, Па;
 P_W — минимальная тяга отопительного устройства, Па;
 P_{Wmax} — максимальная тяга отопительного устройства, Па;
 P_Z — минимальная тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу, Па;
 P_{Zmax} — максимальная тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу, Па;
 P_{Ze} — минимально необходимая тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу, Па;
 P_{Zemax} — максимально возможная тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу, Па.

(Измененная редакция, А2:2008)

Примечание — Значения P_H и P_R в формулах (1) и (2а), как правило, отличаются друг от друга из-за различия условий.

(Измененная редакция, А2:2008)

5.2.2 Дымовые трубы положительного давления

Должны выполняться следующие соотношения:

$$P_{ZO} = P_R - P_H + P_L \leq P_{WO} - P_B - P_{FV} = P_{Zoe}, \quad (3)$$

$$P_{ZO} \leq P_{Zexcess}, \quad (4)$$

$$P_{ZO} + P_{FV} \leq P_{Zexcess}, \quad (5)$$

$$P_{ZOmin} = P_R - P_H \geq P_{WOmin} - P_B - P_{FV} = P_{ZOemin}, \quad (5a)$$

(Измененная редакция, А2:2008)

где P_B — сопротивление притоку воздуха, Па;

(Измененная редакция, А2:2008)

P_{FV} — сопротивление присоединительного дымоотвода, Па;

P_H — теоретическая тяга вследствие «эффекта дымовой трубы», Па;

P_L — ветровое давление, Па;

P_R — сопротивление дымовой трубы, Па;

P_{WO} — максимальный перепад давления отопительного устройства, Па;

P_{WOmin} — минимальный перепад давления отопительного устройства, Па;

(Измененная редакция, А2:2008)

P_{Zo} — максимальное положительное давление на входе дымовых газов в дымовую трубу, Па;

P_{Zomin} — минимальное положительное давление на входе дымовых газов в дымовую трубу, Па;

(Измененная редакция, А2:2008)

P_{Zoe} — максимальный перепад давления на входе дымовых газов в дымовую трубу, Па;

P_{ZOemin} — минимальный перепад давления на входе дымовых газов в дымовую трубу, Па;

(Измененная редакция, А2:2008)

$P_{Zexcess}$ — максимально допустимое давление из обозначения дымовой трубы, Па;

(Измененная редакция, А2:2008)

$P_{ZVexcess}$ — максимально допустимое давление из обозначения присоединительного дымоотвода, Па.

Примечание — Значения P_H и P_R в формулах (3) и (5а), как правило, отличаются друг от друга из-за различия условий.

(Измененная редакция, А2:2008)

5.3 Требования по температуре

Должно выполняться следующее соотношение:

$$T_{iob} \geq T_g, \quad (6)$$

где T_{iob} — температура внутренней поверхности на выходе из дымовой трубы при температуре равновесия, К;

T_g — предельная температура, К.

Если та часть дымовой трубы, которая располагается выше крыши, имеет дополнительную тепловую изоляцию, то должно также выполняться следующее соотношение:

$$T_{irb} \geq T_g, \quad (7)$$

где T_{irb} — температура внутренней поверхности непосредственно перед дополнительной тепловой изоляцией, К.

Предельной температурой T_g для дымовых труб с сухими условиями эксплуатации должна быть температура конденсации T_{sp} дымовых газов (5.7.6).

Предельной температурой T_g для дымовых труб с влажными условиями эксплуатации должна быть температура 273,15 К, исключающая образование льда на выходе из дымовой трубы.

Примечание — Необязательно сравнивать температуру внутренней поверхности перед дополнительной тепловой изоляцией T_{irb} с допустимой предельной температурой дымовых газов T_g , если значение термического сопротивления дополнительной тепловой изоляции не превышает 0,1 (м²·К)/Вт.

Необязательно проводить указанное сравнение для дымовых труб с влажными условиями эксплуатации, если значение температуры окружающего воздуха непосредственно перед дополнительной тепловой изоляцией больше или равно 0 °С.

5.4 Методика расчета

Для вычисления значений давления и температуры по зависимостям, выраженным уравнениями (1), (2), (2а), (3), (4), (5), (5а) и (6), следует получить значения параметров характеристики дымовых газов отопительного устройства в соответствии с 5.5.

(Измененная редакция, А2:2008)

Параметры, указанные в 5.6, должны быть получены для дымовой трубы и ее присоединительного дымоотвода. Для новых дымовых труб следует использовать предварительно рассчитанное значение размера дымового канала.

(Измененная редакция, А1:2002)

В 5.7 – 5.11 представлены вычисления, необходимые для завершения теплотехнического и аэродинамического расчета дымовой трубы. Формулы в 5.7 обеспечивают вычисления основных параметров, которые необходимы для дальнейших расчетов.

В 5.5.3 и 5.8 приведены формулы для вычисления соответствующих температур. Формулы для вычисления плотности дымовых газов и их скорости приведены в 5.9.

(Измененная редакция, А1:2002)

Методику из 5.10 и 5.11 следует использовать для контроля выполнения требований по давлению. Методику из 5.12 следует использовать для контроля выполнения требований по температуре.

Контроль выполнения требований по давлению и температуре следует производить дважды:

- для номинальной тепловой мощности отопительного устройства;
- для наименьшего значения из диапазона тепловых мощностей, указанного изготовителем отопительного устройства.

При невыполнении требования по давлению для максимальной тяги (2а) или требований по температуре (6) и (7) для дымовых труб отрицательного давления условия по давлению или температурные условия допускается контролировать путем учета в соответствии с разделом 6 дополнительного вторичного воздуха, добавляемого к дымовым газам.

(Измененная редакция, А2:2008)

Примечание — Если при невыполнении требований по температуре утверждается, что отсутствие влаги не гарантировано, то в следующих случаях нет необходимости производить контроль требований по температуре:

- когда отопительное устройство заменяют устройством, мощность которого менее 30 кВт;
- когда потеря дымовых газов в отопительном устройстве составляет не менее 8 %;
- когда отопительное устройство оборудовано тягопрерывателем, который обеспечивает достаточную вентиляцию дымовой трубы при ее низкой производительности, или когда дымовая труба не работает. Это достигается превышением уровня мощности отопительного устройства.

(Измененная редакция, А1:2002)

5.5 Параметры характеристики дымовых газов отопительного устройства

(Измененная редакция, А1:2002)

5.5.1 Общие положения

Для вычисления значений температуры и давления необходимы параметры характеристики дымовых газов отопительного устройства, такие как массовый поток дымовых газов, температура дымовых газов, минимально необходимая тяга или максимальный перепад давления отопительного устройства. Дополнительно должны быть указаны вид используемого топлива, объемная концентрация CO_2 в дымовых газах и геометрические размеры присоединительного дымоотвода.

Типичные параметры для некоторых видов топлива приведены в таблице В.1 (приложение В).

Типичные параметры для некоторых видов отопительных устройств приведены в таблицах В.2 и В.3 (приложение В).

5.5.2 Массовый поток дымовых газов

5.5.2.1 Массовый поток дымовых газов при номинальной тепловой мощности отопительного устройства

Для вычисления значений давления и температуры по взаимосвязанным уравнениям (1) – (6) следует получить массовый поток дымовых газов при номинальной тепловой мощности отопительного устройства.

(Измененная редакция, А2:2008)

Если этот параметр отсутствует, массовый поток дымовых газов и объемную концентрацию CO_2 можно определить по формулам из таблиц В.1, В.2 или В.3 (приложение В).

Если дымовая труба соединена с отопительным устройством, работающим на разных видах топлива, вычисление и определение размеров следует выполнять с учетом всех видов топлива, пригодных для этого устройства.

При наличии в отопительном устройстве тягопрерывателя следует использовать массовый поток дымовых газов после прерывателя тяги.

Массовый поток дымовых газов \dot{m} камина зависит от его окна.

При вычислении используют следующую формулу:

$$\dot{m} = f_{mf} A_F, \quad (8)$$

где f_{mf} — коэффициент массового потока камина, $\text{кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$;

A_F — поперечное сечение окна камина, м^2 .

Для каминов, у которых высота окна меньше или равна его ширине $f_{mf} = 0,139 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$.

Для каминов, у которых высота окна больше его ширины $f_{mf} = 0,167 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$.

Содержание CO_2 в дымовых газах каминов можно принять $\sigma(\text{CO}_2) = 1 \%$.

5.5.2.2 Массовый поток дымовых газов при наименьшем значении допустимой тепловой мощности

Если отопительное устройство предназначено для работы в условиях модулирования, следует производить дополнительную проверку требований по давлению и температуре для массового потока дымовых газов при наименьшей возможной и допустимой тепловой мощности отопительного устройства.

Если изготовитель не предоставит параметры дымовых газов для наименьшей тепловой мощности, используют массовый поток, составляющий треть часть массового потока дымовых газов при номинальной тепловой мощности.

5.5.2.3 Массовый поток дымовых газов при максимальной тяге или минимальном перепаде давления отопительного устройства

Если необходимо рассчитать максимальную тягу или минимальное положительное давление в дымовой трубе, то следует использовать данные изготовителя по массовому потоку дымовых газов от отопительного устройства при максимальной тяге или минимальном перепаде давлений.

(Измененная редакция, А2:2008)

5.5.2.4 Массовый поток дымовых газов с вторичным воздухом

Если вторичный воздух подается регулятором тяги или тягопрерывателем, то поток воздуха следует вычислять в соответствии с 6.3 в зависимости от существующей разности между давлением в помещении, в котором установлено отопительное устройство, и давлением в дымовой трубе или присоединительном дымоотводе.

5.5.3 Температура дымовых газов

5.5.3.1 Температура дымовых газов при номинальной тепловой мощности T_{WN}

Значение температуры дымовых газов при номинальной тепловой мощности T_{WN} следует получить от изготовителя отопительного устройства. При наличии в отопительном устройстве тягопрерывателя следует использовать значение температуры дымовых газов после тягопрерывателя.

Если изготовитель предоставит значения температуры дымовых газов после тягопрерывателя в зависимости от тяги, то при вычислении следует использовать эти данные.

Если температура дымовых газов T_{WN} каминов не известна, то следует использовать значение $t_{WN} = 80$ °С ($T_{WN} = 353,15$ К).

5.5.3.2 Температура дымовых газов при наименьшем значении возможной тепловой мощности T_{Wmin}

Значение самой низкой из установленных температур дымовых газов T_{Wmin} , °С, следует получить от изготовителя отопительного устройства. Если такие данные отсутствуют, то используют значение, составляющее 2/3 значения температуры дымовых газов при номинальной тепловой мощности.

5.5.3.3 Температура дымовых газов при максимальной тяге или минимальном перепаде давления отопительного устройства

(Измененная редакция, А2:2008)

Для вычисления максимальной тяги или минимального положительного давления в дымовой трубе температуру дымовых газов при максимальной тяге или минимальном перепаде давления в отопительном устройстве при необходимости следует получить от изготовителя отопительного устройства.

5.5.4 Минимальная тяга отопительного устройства P_W в дымовой трубе отрицательного давления

Для расчета дымовой трубы отрицательного давления значение минимальной тяги отопительного устройства P_W следует получить от изготовителя отопительного устройства.

Если значения отсутствуют, то подходящие значения минимальной тяги для отопительного устройства следует выбрать в соответствующих стандартах на изготовление отопительных устройств. При отсутствии таких значений для котлов — см. таблицу В.2 (приложение В).

Если доступное значение минимальной тяги является отрицательным числом (что означает работу в условиях положительного давления), то в расчетах следует использовать значение $P_W = 0$.

Если изготовитель не может предоставить подтвержденные данные по тягопрерывателю, то для газовых устройств, обозначаемых в соответствии с CEN/TR 1749 через B_1 , значение минимальной тяги принимают равным 3 и 10 Па — для всех других газовых устройств, оборудованных тягопрерывателем.

(Измененная редакция, А2:2008)

Минимальную тягу P_W , необходимую для работы каминов, следует вычислять с использованием массового потока дымовых газов и поперечного сечения выходного отверстия дымовой трубы камина. Теоретическую тягу, получаемую вследствие «эффекта дымовой трубы», в камине и в дымосборнике учитывать не следует. Местное сопротивление дымосборника (накопителя) учитывают путем использования коэффициента стабильности потока $S_E = 1,5$.

(Измененная редакция, А2:2008)

$$P_W = \frac{\dot{m}^2}{2\rho_W A_W^2} \cdot S_E, \quad (9)$$

где \dot{m} — массовый поток дымовых газов, кг/с;

S_E — коэффициент стабильности потока;

ρ_W — плотность дымовых газов в выходном отверстии дымовой трубы камина, кг/м³;

A_W — поперечное сечение выходного отверстия дымовой трубы камина, м².

5.5.5 Максимальная тяга отопительного устройства P_{Wmax} в дымовой трубе отрицательного давления

(Измененная редакция, А2:2008)

При расчете дымовой трубы отрицательного давления значение максимальной тяги отопительного устройства P_{Wmax} при необходимости следует получить у изготовителя отопительного устройства.

5.5.6 Максимальный перепад давления отопительного устройства P_{W0} в дымовой трубе положительного давления

При расчете дымовой трубы положительного давления значение максимального перепада давления отопительного устройства P_{W0} при необходимости следует получить у изготовителя отопительного устройства.

5.6 Расчетные параметры характеристики

5.6.1 Общие положения

Для вычисления соответствующих значений давления и температуры следует определить шероховатость внутренней поверхности и термическое сопротивление присоединительного дымоотвода и дымовой трубы.

5.6.2 Шероховатость r

Среднее значение шероховатости внутренней поверхности облицовки следует получить у изготовителя изделия. Средние значения шероховатостей внутренних поверхностей облицовок, изготовленных из широко используемых материалов, приведены в таблице В.4 (приложение В).

5.6.3 Термическое сопротивление $1/\Lambda$

Термическое сопротивление $1/\Lambda$ дымоотрубной системы следует получить у изготовителя изделия.

Термическое сопротивление $1/\Lambda$ элементов с учетом влияния мостиков холода (например, стыков) следует получить у изготовителя изделия.

Примечание — Вычисления, включающие термическое сопротивление дымоотрубных систем и (или) элементов, как правило, следует выполнять с использованием значений, полученных при средней рабочей температуре. Допускается использовать значение термического сопротивления, полученное при температуре, указанной в маркировке изделия.

Термическое сопротивление многослойных дымовых труб, изготовленных на заказ, следует вычислять по формуле

$$\frac{1}{\Lambda} = D_h \cdot \sum_n \left[\left(\frac{1}{\Lambda} \right)_n \cdot \frac{1}{D_{h,n}} \right], \quad (10)$$

где D_h — внутренний гидравлический диаметр, м;

$D_{h,n}$ — внутренний гидравлический диаметр каждого слоя, м;

$\left(\frac{1}{\Lambda} \right)_n$ — термическое сопротивление оболочки трубы, отнесенное к ее внутренней поверхности, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Если точные данные по отдельным элементам не известны, то термическое сопротивление допускается определять, как приведено в приложении А. Термическое сопротивление закрытых воздушных прослоек приведено в таблице В.6 (приложение В).

5.7 Основные расчетные величины

5.7.1 Температура воздуха

5.7.1.1 Общие положения

Для дымовых труб, проходящих через отапливаемые зоны, следует различать температуру наружного и окружающего воздуха.

5.7.1.2 Температура наружного воздуха T_L

Температуру наружного воздуха T_L следует принимать в качестве максимальной температуры наружного воздуха, при которой дымовую трубу будут использовать.

Температуру наружного воздуха T_L для систем отопления вычисляют, как правило, с использованием:

$T_L = 288,15 \text{ К}$ ($t_L = 15 \text{ °C}$) — для вычисления минимальной тяги или максимального положительного давления на входе дымовых газов в дымовую трубу;

$T_L = 258,15 \text{ К}$ ($t_L = -15 \text{ °C}$) — для вычисления максимальной тяги или минимального положительного давления на входе дымовых газов в дымовую трубу.

(Измененная редакция, А2:2008)

Могут быть использованы другие значения T_L на основании данных национальных стандартов.

5.7.1.3 Температура окружающего воздуха T_u

Для контроля выполнения требований по давлению для минимальной тяги или максимального положительного давления следует использовать температуру окружающего воздуха $T_u = T_L$. Для контроля выполнения требований по давлению для максимальной тяги или минимального положительного давления, а также требований по температуре следует использовать следующие значения температуры окружающего воздуха T_u :

(Измененная редакция, А2:2008)

— для дымовых труб без вентилируемых воздушных прослоек:

$$T_{uo} = 258,15 \text{ К } (t_{uo} = -15 \text{ °С})$$

$$T_{uo} = 273,15 \text{ К } (t_{uo} = 0 \text{ °С})$$

$$T_{ub} = 288,15 \text{ К } (t_{ub} = 15 \text{ °С});$$

$$T_{uh} = 293,15 \text{ К } (t_{uh} = 20 \text{ °С});$$

$$T_{ul} = T_{uo} (t_{ul} = t_{uo});$$

$$T_{uu} = 273,15 \text{ К } (t_{uu} = 0 \text{ °С});$$

— для дымовых труб с вентилируемыми воздушными прослойками, где направление вентиляции совпадает с направлением движения дымовых газов:

(Измененная редакция, А1:2002)

$$T_{uo} = 258,15 \text{ К } (t_{uo} = -15 \text{ °С})$$

$$T_{uo} = 273,15 \text{ К } (t_{uo} = 0 \text{ °С})$$

$$T_{ub} = 288,15 \text{ К } (t_{ub} = 15 \text{ °С});$$

$$T_{uh} = 293,15 \text{ К } (t_{uh} = 20 \text{ °С});$$

$$T_{ul} = 288,15 \text{ К } (t_{ul} = 15 \text{ °С})$$

$$T_{ul} = T_{uo} (t_{ul} = t_{uo})$$

$$T_{uu} = 288,15 \text{ К } (t_{uu} = 15 \text{ °С})$$

$$T_{uu} = 273,15 \text{ К } (t_{uu} = 0 \text{ °С})$$

(Измененная редакция, А1:2002)

Могут быть использованы другие значения для T_{uo} на основании данных национальных стандартов.

Части дымовой трубы, расположенные в зонах с разными температурами окружающего воздуха, следует рассчитывать по секциям с одинаковой температурой окружающего воздуха, или вычислять температуру воздуха вокруг соответствующих частей наружной поверхности по следующей формуле:

$$T_u = \frac{(T_{ub}A_{ub}) + (T_{uh}A_{uh}) + (T_{uu}A_{uu}) + (T_{ul}A_{ul})}{A_{ub} + A_{uh} + A_{uu} + A_{ul}}, \quad (11)$$

где T_{uo} — температура окружающего воздуха на выходе из дымовой трубы, К;

T_{ub} — температура окружающего воздуха в бойлерной, К;

T_{uh} — температура окружающего воздуха в обогреваемых зонах, К;

T_{ul} — температура окружающего воздуха в зонах, расположенных вне здания, К;

T_{uu} — температура окружающего воздуха в необогреваемых зонах внутри здания, К;

A_{ub} — площадь наружной поверхности дымовой трубы в бойлерной, м²;

A_{uh} — площадь наружной поверхности дымовой трубы в обогреваемых зонах, м²;

A_{ul} — площадь наружной поверхности дымовой трубы вне здания, м²;

A_{uu} — площадь наружной поверхности дымовой трубы в необогреваемых зонах внутри здания, м².

Примечание — Если наружная поверхность дымовой трубы, расположенная вне здания и в необогреваемых зонах, при отсутствии обратной вентиляции составляет не более 1/4 части от всей наружной поверхности дымовой трубы, то температура окружающего воздуха T_u может быть принята равной 288,15 К ($t_u = 15 \text{ °С}$).

Если высота дымовых труб с воздушными прослойками, вентилируемыми в направлении, совпадающем с направлением движения дымовых газов, в зонах, расположенных вне здания и в необогреваемых зонах, не превышает 5 м, то температура окружающего воздуха T_u может быть принята равной 288,15 К ($t_u = 15$ °С). Если высота дымовых труб с воздушными прослойками, вентилируемыми в направлении противоположном направлению дымовых газов, в зонах, расположенных вне здания и в необогреваемых зонах, не превышает 5 м, то температура окружающего воздуха T_u может быть принята равной 273,15 К ($t_u = 0$ °С).

5.7.2 Давление наружного воздуха p_L

Давление наружного воздуха p_L следует определять в зависимости от высоты над уровнем моря по формуле

$$p_L = 97\,000e^{(-gz)/(R_L T_L)}, \quad (12)$$

где g — ускорение свободного падения; $g = 9,81$ м/с²;
 R_L — газовая постоянная воздуха, Дж/(кг·К);
 T_L — температура наружного воздуха, К;
 z — высота над уровнем моря, м;
 97 000 — давление наружного воздуха на уровне моря, с поправкой на погодные условия, Па.

5.7.3 Газовая постоянная

5.7.3.1 Газовая постоянная воздуха R_L

Газовую постоянную воздуха R_L следует принимать равной 288 Дж/(кг·К) (объемное содержание воды $\sigma(\text{H}_2\text{O}) = 1,1$ %).

5.7.3.2 Газовая постоянная дымовых газов R

Газовую постоянную дымовых газов R следует определять по формулам, приведенным в таблицах В.1 и В.3 (приложение В).

5.7.4 Плотность наружного воздуха ρ_L

Плотность наружного воздуха ρ_L следует вычислять по формуле

$$\rho_L = \frac{p_L}{R_L T_L}, \quad (13)$$

где p_L — давление наружного воздуха, Па;
 R_L — газовая постоянная воздуха, Дж/(кг·К);
 T_L — температура наружного воздуха, К.

5.7.5 Удельная теплоемкость дымовых газов c_p

Удельную теплоемкость c_p дымовых газов следует определять по формулам, приведенным в таблицах В.1 и В.4 (приложение В).

5.7.6 Температура конденсации T_{sp}

Для газа и топлива коммунально-бытового назначения температуру конденсации T_{sp} дымовых газов устанавливают по точке росы для воды T_p . В этих случаях

$$T_{sp} = T_p. \quad (14)$$

Точку росы по воде T_p дымовых газов для разных видов топлива и для разной объемной концентрации CO_2 в дымовых газах следует определять по формулам (В.5) – (В.7) (приложение В).

Для каменного угля, топочного мазута и дров температурой конденсации дымовых газов является точка росы для кислоты T_{sp} . В этих случаях

$$T_{sp} = T_p + \Delta T_{sp}. \quad (15)$$

Повышение точки росы вследствие содержания триоксида серы в дымовых газах ΔT_{sp} можно вычислить по формуле, приведенной в таблице В.1 (приложение В). Для точного определения точки росы по кислоте требуется знать, как диоксид серы преобразуется в триоксид серы (коэффициент преобразования K_f). В качестве приближенного значения можно допустить, что объемная концентрация триоксида серы (SO_3) составляет приблизительно 2 % от объемной концентрации диоксида серы (SO_2). Для учета конденсации кислоты в случае древесины следует повысить точку росы ΔT_{sp} на 15 К.

(Измененная редакция, А2:2008)

$$\Delta T_{sp} = 15 \text{ К.}$$

5.7.7 Поправочный коэффициент на нестабильность температуры S_H

Поправочный коэффициент на нестабильность температуры S_H при вычислении минимальной тяги или максимального положительного давления должен быть равен 0,5.

Поправочный коэффициент на нестабильность температуры S_H при вычислении максимальной тяги или минимального положительного давления должен быть равен 1.

(Измененная редакция, А2:2008)

5.7.8 Коэффициент стабильности потока S_E

Коэффициент стабильности S_E должен быть равен 1,5 при вычислении минимальной тяги дымовых труб отрицательного давления, за исключением отопительных устройств и дымовых труб с точной регулировкой, а также отопительных аппаратов с закрытой камерой сгорания, оборудованных горелкой с принудительной тягой, когда следует использовать значение 1,2.

Для вычисления максимального положительного давления дымовых труб коэффициент стабильности S_E должен быть равен минимальному значению 1,2.

Для вычисления максимальной тяги или минимального положительного давления коэффициент надежности S_E должен быть равен единице.

(Измененная редакция, А2:2008)

5.8 Определение температур**5.8.1 Общие положения**

Для проверки выполнения требований по давлению и температуре следует определить среднюю температуру дымовых газов и температуру дымовых газов на выходе из дымовой трубы.

Среднюю температуру дымовых газов T_m следует вычислять по формуле

$$T_m = T_u + \frac{T_e - T_u}{K} \cdot (1 - e^{-K}). \quad (16)$$

Температуру дымовых газов на выходе из дымовой трубы T_o следует вычислять по формуле

$$T_o = T_u + (T_e - T_u) \cdot e^{-K}. \quad (17)$$

Среднюю температуру дымовых газов в присоединительном дымоотводе T_{mV} следует вычислять по формуле

$$T_{mV} = T_u + \frac{T_W - T_u}{K_V} \cdot (1 - e^{-K_V}). \quad (18)$$

Температуру дымовых газов на входе в дымовую трубу T_e следует вычислять по формуле

$$T_e = T_u + (T_W - T_u) \cdot e^{-K_V}, \quad (19)$$

где K — коэффициент охлаждения (см. 5.8.1);

K_V — коэффициент охлаждения присоединительного дымоотвода (см. 5.8.1);

T_e — температура дымовых газов на входе в дымовую трубу, К;

T_u — температура окружающего воздуха (см. 5.7.1.2), К;

T_W — температура дымовых газов отопительного устройства, К.

5.8.2 Вычисление коэффициента охлаждения K

Коэффициент охлаждения K вычисляют по формуле

$$K = \frac{UkL}{\dot{m}c_p}, \quad (20)$$

где c_p — удельная теплоемкость дымовых газов (см. 5.7.5), Дж/(кг·К);

k — коэффициент теплопередачи (см. 5.8.2), Вт/(м²·К);

L — длина дымовой трубы, м;

\dot{m} — массовый поток дымовых газов (см. 5.5.1), кг/с;

U — внутренний периметр дымовой трубы, м.

Для коэффициента охлаждения присоединительного дымоотвода K_V следует использовать соответствующие параметры для присоединительного дымоотвода.

5.8.3 Коэффициент теплопередачи k_b

5.8.3.1 Общие положения

Коэффициент теплопередачи дымовой трубы при температуре равновесия k_b следует вычислять по формуле:

$$k_b = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{D_h}{D_{ha} \alpha_a}}. \quad (21)$$

Коэффициент теплопередачи дымовой трубы при отсутствии температурного равновесия k следует вычислять по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + S_H \cdot \left[\frac{1}{\Lambda} + \frac{D_h}{D_{ha} \alpha_a} \right]}, \quad (22)$$

где D_h — внутренний гидравлический диаметр, м;
 D_{ha} — наружный гидравлический диаметр, м;
 S_H — поправочный коэффициент на нестабильность температуры (см. 5.7.7);
 α_a — коэффициент теплообмена снаружи (см. 5.8.2.2), Вт/(м²·К);
 α_i — коэффициент теплообмена внутри трубы (см. 5.8.2.1), Вт/(м²·К);
 $\frac{1}{\Lambda}$ — термическое сопротивление (см. 5.6.2), м²·К/Вт.

5.8.3.2 Коэффициент теплообмена внутри трубы α_i

Коэффициент теплообмена в дымовой трубе α_i следует вычислять по формуле

$$\alpha_i = \frac{\lambda_A Nu}{D_h}, \quad (23)$$

где D_h — внутренний гидравлический диаметр, м;
 Nu — число Нуссельта;
 λ_A — коэффициент теплопроводности дымовых газов, Вт/(м·К).

Коэффициент теплопроводности дымовых газов λ_A следует вычислять в зависимости от средней температуры дымовых газов по таблицам В.1 и В.8 (приложение В).

Среднее по высоте дымовой трубы число Нуссельта Nu следует вычислять по формуле

$$Nu = \left(\frac{\psi}{\psi_{smooth}} \right)^{0,67} \cdot 0,0214 \cdot (Re^{0,8} - 100) \cdot Pr^{0,4} \cdot \left[1 + \left(\frac{D_h}{L_{tot}} \right)^{0,67} \right], \quad (24)$$

где D_h — внутренний гидравлический диаметр, м;
 L_{tot} — суммарная длина от входа дымовых газов в дымовую трубу до выхода из дымовой трубы (L_{tot} также действительна для присоединительного дымоотвода как суммарная эффективная длина от выхода дымовых газов из отопительного устройства до входа дымовых газов в дымовую трубу);
 Pr — число Прандтля;
 Re — число Рейнольдса;
 ψ — коэффициент гидравлического сопротивления вследствие трения для возмущенного потока (5.10.2.2);
 ψ_{smooth} — коэффициент гидравлического сопротивления вследствие трения для невозмущенного потока (5.10.2.2 для $r = 0$).

Формула может быть использована для $2300 < Re < 10\,000\,000$ и $\left(\frac{\psi}{\psi_{smooth}} \right) < 3$, а также для $0,6 < Pr < 1,5$.

Для средней скорости дымовых газов $w_m < 0,5$ м/с используют число Нуссельта, соответствующее $w_m = 0,5$ м/с.

Для чисел Рейнольдса менее 2300 используют число Нуссельта, соответствующее $Re = 2300$.

Число Прандтля Pr следует вычислять по формуле

$$Pr = \frac{\eta_A c_p}{\lambda_A}. \quad (25)$$

Число Рейнольдса Re следует вычислять по формуле

$$Re = \frac{w_m D_h \rho_m}{\eta_A}, \quad (26)$$

где c_p — удельная теплоемкость дымовых газов, Дж/(кг·К);
 D_h — внутренний гидравлический диаметр, м;
 w_m — средняя скорость дымовых газов (5.9), м/с;
 η_A — динамическая вязкость дымовых газов, Н·с/м²;
 λ_A — коэффициент теплопроводности дымовых газов, Вт/(м·К);
 ρ_m — средняя плотность дымовых газов (5.9), кг/м³.

Динамическую вязкость η_A следует вычислять в зависимости от температуры дымовых газов по формуле (В.10) (приложение В, таблица В.1).

Аналогичным образом может быть вычислен коэффициент теплообмена внутри трубы α_i для дымовых труб, маркированных для работы во влажных условиях, если теплота конденсации не учитывается.

5.8.3.3 Коэффициент теплообмена снаружи α_a

Коэффициент теплообмена снаружи α_a следует принимать равным 8 Вт/(м²·К) для присоединительных дымоотводов и дымовых труб, расположенных внутри здания, для присоединительных дымоотводов и дымовых труб, расположенных вне здания $\alpha_a = 23$ Вт/(м²·К).

Для присоединительных дымоотводов и дымовых труб, расположенных частично вне здания, коэффициент теплообмена снаружи α_a следует интерполировать.

Если части дымовых труб расположены вне здания, но теплоизолированы с использованием воздушной прослойки толщиной не менее 1 см и не более 5 см, коэффициент теплообмена снаружи α_a должен быть равен 8 Вт/(м²·К).

Для дымовой трубы (включая дымовые трубы с отремонтированной облицовкой) с вентилируемой воздушной прослойкой α_a принимают равным 8 Вт/(м²·К). Для невентилируемых участков такой дымовой трубы, если длина невентилируемой части, расположенной вне здания, составляет $\leq 3D_h$, α_a принимают равным 8 Вт/(м²·К), в других случаях — 23 Вт/(м²·К).

5.9 Определение плотности дымовых газов и скорости дымовых газов

5.9.1 Плотность дымовых газов ρ_m

Среднюю плотность дымовых газов ρ_m следует определять по формуле

$$\rho_m = \frac{p_L}{RT_m}, \quad (27)$$

где p_L — давление наружного воздуха (см. 5.7.2), Па;
 R — газовая постоянная дымовых газов (см. 5.7.3.2), Дж/(кг·К);
 T_m — средняя температура дымовых газов (см. 5.8), К.

Для средней плотности дымовых газов ρ_{mV} в присоединительном дымоотводе следует использовать соответствующие значения для присоединительного дымоотвода.

5.9.2 Скорость дымовых газов w_m

Среднюю скорость дымовых газов w_m следует вычислять по формуле

$$w_m = \frac{\dot{m}}{A \rho_m}, \quad (28)$$

где A — внутреннее поперечное сечение дымовой трубы, м²;
 \dot{m} — массовый поток дымовых газов (см. 5.5.1), кг/с;
 ρ_m — средняя плотность дымовых газов, кг/м³.

Для средней скорости дымовых газов w_{mV} в присоединительном дымоотводе следует использовать соответствующие данные для присоединительного дымоотвода.

5.10 Определение давлений

5.10.1 Давление на входе дымовых газов в дымовую трубу

5.10.1.1 Тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу отрицательного давления P_Z и P_{Zmax} (Измененная редакция, А2:2008)

Минимальная P_Z и максимальная P_{Zmax} тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу отрицательного давления в основном зависит от массового потока и температуры дымовых газов, эффективной высоты дымовой трубы, поперечного сечения и значений конструктивной характеристики (шероховатости и термического сопротивления) дымовой трубы.

(Измененная редакция, А2:2008)

Минимальную P_Z и максимальную P_{Zmax} тягу на входе дымовых газов в дымовую трубу следует рассчитывать по формулам:

$$P_Z = P_H - P_R - P_L, \quad (29)$$

$$P_{Zmax} = P_H - P_R, \quad (29a)$$

(Измененная редакция, А2:2008)

где P_H — теоретическая тяга, получаемая за счет «эффекта дымовой трубы», Па;

P_L — ветровое давление, Па;

P_R — сопротивление дымовой трубы, Па;

P_Z — минимальная тяга на входе дымовых газов, Па;

P_{Zmax} — максимальная тяга на входе дымовых газов, Па.

(Измененная редакция, А2:2008)

Примечание — Значения P_H и P_R в формулах (29) и (29a), как правило, отличаются друг от друга из-за различия условий.

(Измененная редакция, А2:2008)

5.10.1.2 Положительное давление на входе дымовых газов в дымовую трубу положительного давления P_{ZO} и P_{ZOmin}

(Измененная редакция, А2:2008)

Максимальное P_{ZO} и минимальное P_{ZOmin} положительные давления на входе дымовых газов в дымовую трубу положительного давления в основном зависят от массового потока и температуры дымовых газов, эффективной высоты дымовой трубы, поперечного сечения и значений конструктивной характеристики (шероховатости и термического сопротивления) дымовой трубы.

Максимальное P_{ZO} и минимальное P_{ZOmin} положительные давления на входе дымовых газов в дымовую трубу следует рассчитывать, используя следующие формулы:

(Измененная редакция, А2:2008)

$$P_{ZO} = P_R - P_H + P_L, \quad (30)$$

(Измененная редакция, А1:2002)

$$P_{ZOmin} = P_R - P_H, \quad (30a)$$

(Измененная редакция, А2:2008)

где P_H — теоретическая тяга дымовой трубы, Па;

P_L — ветровое давление, Па;

P_R — сопротивление дымовой трубы, Па;

P_{ZO} — максимальный перепад давления на входе дымовых газов, Па;

P_{ZOmin} — минимальный перепад давления на входе дымовых газов, Па.

Примечание — Значения P_R и P_H в уравнениях (30) и (30a) обычно отличаются друг от друга из-за различия условий.

(Измененная редакция, А2:2008)

5.10.2 Теоретическая тяга, получаемая вследствие эффекта дымовой трубы P_H

Теоретическую тягу, получаемую вследствие эффекта дымовой трубы, P_H следует вычислять по формуле

$$P_H = Hg \cdot (\rho_L - \rho_m), \quad (31)$$

где H — эффективная высота дымовой трубы, м;

g — ускорение свободного падения; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

ρ_L — плотность наружного воздуха (см. 5.7.4), кг/м²;
 ρ_m — средняя плотность дымовых газов (см. 5.9.1), кг/м³.

5.10.3 Сопротивление дымовой трубы P_R

5.10.3.1 Общие положения

Сопротивление дымовой трубы P_R определяют по следующим формулам:

$$P_R = S_E P_E + S_{EG} P_G, \quad (32)$$

$$P_R = S_E \cdot \left(\psi \cdot \frac{L}{D_h} + \sum_n \zeta_n \right) \cdot \frac{\rho_m}{2} \cdot w_m^2 + S_{EG} P_G, \quad (33)$$

для $P_G \geq 0$ $S_{EG} = S_E$;

для $P_G < 0$ $S_{EG} = 1,0$,

где D_h — внутренний гидравлический диаметр, м;
 L — длина дымовой трубы, м;
 P_E — сопротивление вследствие трения и формы дымовой трубы, Па;
 P_G — разность давлений, вызванная изменением скорости дымовых газов в дымовом канале, Па;
 S_E — аэродинамический коэффициент стабильности (см. 5.7.8);
 S_{EG} — аэродинамический коэффициент стабильности для перепада давлений вследствие изменения скорости;
 w_m — средняя скорость дымовых газов (см. 5.9.2), м/с;
 ρ_m — средняя плотность дымовых газов (см. 5.9.1), кг/м³;
 ψ — коэффициент сопротивления вследствие трения в дымовом канале;
 $\sum_n \zeta_n$ — сумма коэффициентов сопротивления вследствие изменения направления и (или) поперечного сечения, и (или) массового потока в дымовом канале.

5.10.3.2 Разность давлений, вызванная изменением скорости дымовых газов в дымовой трубе P_G

Разность давлений, вызванную изменением скорости дымовых газов в дымовой трубе, P_G вычисляют по формуле

$$P_G = \frac{\rho_2}{2} \cdot w_2^2 - \frac{\rho_1}{2} \cdot w_1^2, \quad (34)$$

где w_1 — скорость дымовых газов до изменения скорости, м/с;
 w_2 — скорость дымовых газов после изменения скорости, м/с;
 ρ_1 — плотность дымовых газов до изменения скорости, кг/м³;
 ρ_2 — плотность дымовых газов после изменения скорости, кг/м³.

Для w_1 и w_2 , так же как и для ρ_1 и ρ_2 , допускается использовать средние по отрезку значения скорости до и после изменения.

5.10.3.3 Коэффициент гидравлического сопротивления вследствие трения в дымовом канале ψ

Коэффициент гидравлического сопротивления вследствие трения в дымовом канале ψ для различных шероховатостей следует вычислять по формуле

$$\frac{1}{\sqrt{\psi}} = -2 \log \cdot \left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\psi}} + \frac{r}{3,71 D_h} \right), \quad (35)$$

где D_h — гидравлический диаметр, м;
 r — среднее значение шероховатости внутренней поверхности, м;
 Re — число Рейнольдса (см. 5.8.2.1);
 ψ — коэффициент сопротивления вследствие трения в дымовом канале.

Для чисел Рейнольдса менее 2300 применяют коэффициент, соответствующий числу Рейнольдса, равному 2300.

Значения средней шероховатости должен предоставить изготовитель. В таблице В.4 (приложение В) приведены типичные средние значения шероховатости для разных материалов на тот случай, когда изготовитель не предоставил указанные значения.

5.10.3.4 Коэффициенты гидравлического сопротивления ζ вследствие изменения направления и (или) поперечного сечения, и (или) массового потока в дымовом канале

Значения гидравлического сопротивления вследствие изменения направления и (или) поперечного сечения, и (или) массового потока в дымовом канале следует получить от изготовителя. В таблице В.8 (приложение В) приведены типичные значения гидравлического сопротивления на тот случай, когда изготовитель не предоставил указанные значения.

Коэффициент гидравлического сопротивления в случае увеличения поперечного сечения на выходе из дымовой трубы не следует применять, если в этой точке не учитывается изменение давления вследствие изменения скорости.

5.10.4 Ветровое давление P_L

Ветровое давление P_L принимают равным 25 Па для внутриматериковых районов (более 20 км от побережья) и 40 Па — для прибрежных районов, если выход из дымовой трубы находится под воздействием неблагоприятного давления. Считается, что выход из дымовой трубы находится в зоне неблагоприятного давления, если он расположен выше конька менее чем на 0,4 м и расстояние по горизонтали от выхода из дымовой трубы до пересечения с крышей или до выступающей над крышей части конька составляет менее 2,3 м, а также, если выход из дымовой трубы расположен:

(Измененная редакция, А1:2002)

— на крыше, угол уклона которой более 40°;

— на крыше, угол уклона которой более 25°, если отверстие для подачи воздуха на горение и верхняя точка дымовой трубы расположены по разные стороны от конька, а расстояние по горизонтали от верхней точки до конька более 1 м.

Примечание — Считается, что на дымовую трубу оказывают отрицательное воздействие расположенные рядом заграждения, например, здания, деревья, горы. Выход из дымовой трубы, находящийся в пределах 15 м от расположенных рядом конструкций, протяженность которых по горизонтали составляет 30°, а их верхняя граница поднимается более чем на 10° над горизонтом (если смотреть из выхода оголовка), может оказаться под воздействием ветровой турбулентности (см. приложение С). Этого можно избежать с помощью аэродинамического оголовка.

Значение P_L следует корректировать, если дымовая труба оборудована оголовком, для которого установлена аэродинамическая характеристика. Во всех других случаях P_L следует принимать равным 0 Па.

5.11 Минимально необходимая тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу и максимально возможная тяга (P_{Ze} и P_{Zemax}), максимальный и минимальный перепады на входе дымовых газов в дымовую трубу (P_{ZOe} и P_{ZOemin})

(Измененная редакция, А2:2008)

5.11.1 Общие положения

Минимально необходимую тягу на входе дымовых газов в дымовую трубу отрицательного давления P_{Ze} и максимально возможную тягу P_{Zemax} вычисляют по формулам:

(Измененная редакция, А2:2008)

$$P_{Ze} = P_W + P_{FV} + P_B, \quad (36)$$

$$P_{Zemax} = P_{Wmax} + P_{FV} + P_B, \quad (36a)$$

(Измененная редакция, А2:2008)

где P_{Ze} — минимально необходимая тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу, Па;

(Измененная редакция, А2:2008)

P_{Zemax} — максимально возможная тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу, Па;

(Измененная редакция, А2:2008)

P_W — минимальная тяга отопительного устройства, Па;

P_{Wmax} — максимальная тяга отопительного устройства, Па;

(Измененная редакция, А2:2008)

P_{FV} — сопротивление присоединительного дымоотвода, Па;

P_B — сопротивление подмешивания приточного воздуха к массовому потоку дымовых газов, Па.

Примечание — Значения P_{FV} и P_B в уравнениях (36) и (36a) могут отличаться друг от друга из-за различия условий.

(Измененная редакция, А2:2008)

Максимальный и минимальный перепады давления на входе дымовых газов в дымовую трубу положительного давления (P_{ZOe} и P_{ZOemin}) определяют по формулам:

(Измененная редакция, А2:2008)

$$P_{ZOe} = P_{WO} - P_B - P_{FV}, \quad (37)$$

$$P_{ZOemin} = P_{WOmin} - P_B - P_{FV}, \quad (37a)$$

где P_{ZOe} — максимальный перепад давления на входе дымовых газов в дымовую трубу, Па;

P_{ZOemin} — минимальный перепад давления на входе дымовых газов в дымовую трубу, Па;

(Измененная редакция, А2:2008)

P_{WO} — максимальный перепад давления на выходе из отопительного устройства, Па;

P_{WOmin} — минимальный перепад давления на выходе из отопительного устройства, Па;

(Измененная редакция, А2:2008)

P_{FV} — сопротивление присоединительного дымоотвода, Па;

P_B — сопротивление подмешивания приточного воздуха к массовому потоку дымовых газов, Па.

Примечание — Значения P_{FV} и P_B в формулах (37) и (37a) могут отличаться друг от друга из-за различия условий.

(Измененная редакция, А2:2008)

5.11.2 Минимальная и максимальная тяга для отопительного устройства (P_W и P_{Wmax}) и максимальный и минимальный перепады давления отопительного устройства (P_{WO} и P_{WOmin})

Минимальную и максимальную тягу для отопительного устройства (P_W и P_{Wmax}) или максимальный и минимальный перепады давления отопительного устройства (P_{WO} и P_{WOmin}) должны соответствовать 5.5.4, 5.5.5 или 5.5.6.

(Измененная редакция, А2:2008)

5.11.3 Эффективное сопротивление присоединительного дымоотвода P_{FV}

5.11.3.1 Общие положения

Эффективное сопротивление присоединительного дымоотвода P_{FV} следует вычислять по формуле

$$P_{FV} = P_{RV} - P_{HV}, \quad (38)$$

где P_{RV} — сопротивление присоединительного дымоотвода, Па;

P_{HV} — теоретическая тяга в присоединительном дымоотводе, Па.

Если присоединительный дымоотвод состоит из нескольких различных элементов, конструктивно отличающихся друг от друга, вычисление следует выполнять для каждого элемента. Сопротивление и теоретическую тягу отдельных элементов следует суммировать.

5.11.3.2 Теоретическая тяга, получаемая вследствие эффекта дымовой трубы присоединительного дымоотвода, P_{HV}

Теоретическую тягу, получаемую вследствие эффекта дымовой трубы в присоединительном дымоотводе, P_{HV} вычисляют по формуле

$$P_{HV} = H_V g \cdot (\rho_L - \rho_{mV}), \quad (39)$$

где g — ускорение свободного падения; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

H_V — эффективная высота присоединительного дымоотвода, м;

ρ_L — плотность наружного воздуха (см. 5.7.4), кг/м^3 ;

ρ_{mV} — средняя плотность дымовых газов в присоединительном дымоотводе, кг/м^3 .

Если вход дымовых газов в дымовую трубу расположен ниже, чем дымоотводящий патрубок отопительного устройства, то P_{HV} становится отрицательной.

5.11.3.3 Сопротивление присоединительного дымоотвода P_{RV}

Сопротивление присоединительного дымоотвода P_{RV} следует вычислять по формулам:

$$P_{RV} = S_E P_{EV} + S_{EG} P_{GV}, \quad (40)$$

$$P_{RV} = S_E \cdot \left(\Psi_V \cdot \frac{L_V}{D_{hV}} + \sum_n \zeta_{Vn} \right) \cdot \frac{\rho_{mV}}{2} \cdot w_{mV}^2 + S_{EGV} P_{GV}, \quad (41)$$

для $P_{GV} \geq 0$ $S_{EGV} = S_E$;

для $P_{GV} < 0$ $S_{EGV} = 1,0$,

где D_{hV} — внутренний гидравлический диаметр присоединительного дымоотвода, м;
 L_V — длина присоединительного дымоотвода, м;
 P_{EV} — сопротивление вследствие трения и сопротивления формы в присоединительном дымоотводе, Па;
 P_{GV} — перепад давления, вызванный изменением скорости дымовых газов в присоединительном дымоотводе, Па;
 S_E — коэффициент стабильности потока;
 S_{EGV} — коэффициент стабильности потока для перепада давления вследствие изменения скорости в присоединительном дымоотводе;
 w_{mV} — средняя скорость дымовых газов в присоединительном дымоотводе, м/с;
 ρ_{mV} — средняя плотность дымовых газов в присоединительного дымоотвода, кг/м³;
 ψ_V — коэффициент трения в дымовом канале присоединительного дымоотвода (см. 5.10.3.2);
 $\sum_n \zeta_{V,n}$ — сумма коэффициентов сопротивления вследствие изменений направления и поперечного сечения присоединительного дымоотвода, м.

Среднюю скорость w_{mV} дымовых газов в присоединительном дымоотводе следует вычислять по формуле (28), используя соответствующие значения для присоединительного дымоотвода.

Коэффициент сопротивления вследствие трения в дымовом канале присоединительного дымоотвода следует вычислять по формуле (35), используя соответствующие значения для присоединительного дымоотвода.

Примечание — Сумма отдельных коэффициентов сопротивления $\sum_n \zeta_{V,n}$ для присоединительного дымоотвода зависит от изменения поперечного сечения и направления между дымоотводящим патрубком отопительного устройства и дымовой трубой. Значения ζ приведены в таблице В.8 для типичных изменений поперечного сечения и направления.

Перепад давления, вызванный изменением скорости дымовых газов в соединительной дымовой трубе P_{GV} , следует вычислять по формуле (34) с соответствующими значениями для присоединительного дымоотвода.

5.11.4 Сопротивление притоку воздуха P_B

Сопротивление притоку воздуха P_B следует определять в соответствии с особенностями помещения (размер, тип, число окон и дверей, оснащение вентиляционными системами и дополнительными отопительными устройствами и т. д.).

Для помещений без вентиляционных отверстий P_B должно быть равно 4 Па.

Если воздух на горение поступает в помещение через вентиляционные отверстия или приточные воздуховоды с постоянным по длине поперечным сечением, то P_B следует вычислять по формуле

$$P_B = S_{EB} \cdot \left(\psi_B \cdot \frac{L_B}{D_{hB}} + \sum_n \zeta_{B,n} \right) \cdot \frac{\rho_B}{2} \cdot w_B^2, \quad (42)$$

где D_{hB} — внутренний гидравлический диаметр вентиляционных отверстий или приточного воздуховода, м;
 L_B — длина вентиляционных отверстий или приточного воздуховода, м;
 S_{EB} — коэффициент стабильности потока для подачи воздуха (S_{EB} обычно равен 1,2);
 w_B — скорость в вентиляционных отверстиях или приточном воздуховоде, м/с;
 ρ_B — плотность воздуха, подаваемого на горение, кг/м³;
 ψ_B — коэффициент сопротивления вследствие трения в вентиляционных отверстиях или приточном воздуховоде;
 $\sum_n \zeta_{B,n}$ — сумма коэффициентов сопротивления вследствие изменения направления и (или) поперечного сечения, и (или) массового потока в вентиляционных отверстиях или приточном воздуховоде.

Примечание — Для упрощения вычислений, в зависимости от местных требований, допускается считать, что P_B имеет постоянное значение, равное 3 Па.

Коэффициент сопротивления вследствие трения в вентиляционных отверстиях или приточном воздуховоде ψ_B следует вычислять по формуле (35).

Коэффициенты сопротивления вследствие изменения направления и (или) поперечного сечения, и (или) массового потока в вентиляционных отверстиях или приточных воздуховодах $\sum_n \zeta_{B,n}$ для изменений на входе, выходе и изменений направления в трубе должны быть просуммированы по всей длине вентиляционного отверстия или воздуховода.

При отсутствии данных изготовителя допускается использовать значения таблицы В.8 (приложение В). Скорость в приточном воздуховоде w_B следует вычислять по формуле

$$w_B = \frac{\beta \dot{m}}{A_B \rho_B}, \quad (43)$$

где A_B — поперечное сечение приточного воздуховода, м²;

\dot{m} — массовый поток дымовых газов, кг/с;

β — отношение массового потока воздуха, подаваемого на горение, к массовому потоку дымовых газов;

ρ_B — плотность приточного воздуха, кг/с.

Примечание — В качестве приближения допускается принимать $\beta = 0,9$.

Плотность приточного воздуха следует определять по формуле (13), используя соответствующие значения температуры и давления воздуха.

5.12 Расчет температуры внутренней поверхности на выходе из дымовой трубы T_{iob}

Температуру внутренней поверхности на выходе из дымовой трубы при температуре равновесия T_{iob} следует определять по формуле

$$T_{iob} = T_{ob} - \frac{k_{ob}}{\alpha_i} \cdot (T_{ob} - T_{uo}), \quad (44)$$

где k_{ob} — коэффициент теплопередачи на выходе из дымовой трубы при температуре равновесия, Вт/(м²·К);

T_{ob} — температура дымовых газов на выходе из дымовой трубы при температуре равновесия, К;

T_{uo} — температура окружающего воздуха на выходе из дымовой трубы, К;

α_i — коэффициент теплообмена внутри трубы, Вт/(м²·К).

Коэффициент теплопередачи k_{ob} на выходе из дымовой трубы при температуре равновесия следует определять по формуле

$$k_{ob} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\Lambda} + \left(\frac{1}{\Lambda}\right)_o + \frac{D_h}{D_{hao} \alpha_{ao}}}, \quad (45)$$

где D_h — внутренний гидравлический диаметр, м;

D_{hao} — наружный гидравлический диаметр на выходе из дымовой трубы, м;

α_1 — коэффициент теплообмена на выходе из дымовой трубы, Вт/(м²·К);

α_{ao} — коэффициент теплообмена со стороны наружной поверхности на выходе из дымовой трубы, Вт/(м²·К);

$\frac{1}{\Lambda}$ — термическое сопротивление, м²·К/Вт;

$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_o$ — термическое сопротивление каждого дополнительного слоя тепловой изоляции для той части дымовой трубы, которая располагается над крышей, отнесенное к внутреннему гидравлическому диаметру дымовой трубы, м²·К/Вт.

Если часть дымовой трубы, расположенная над крышей, имеет дополнительную тепловую изоляцию, то температуру внутренней поверхности следует вычислять для той части, которая расположена непосредственно перед дополнительной тепловой изоляцией. Температуру внутренней поверхности T_{irb} непосредственно перед дополнительной тепловой изоляцией следует определять по формуле

$$T_{irb} = T_{rb} - \frac{K_b}{\alpha_1} \cdot (T_{rb} - T_{ur}), \quad (46)$$

где T_{rb} — температура дымовых газов непосредственно перед дополнительной тепловой изоляцией при температуре равновесия, К;

K_b — коэффициент теплопередачи дымовой трубы при температуре равновесия, Вт/(м²·К);

T_{ur} — температура окружающего воздуха непосредственно перед дополнительной тепловой изоляцией, К.

Дополнительное термическое сопротивление на выходе из дымовой трубы $(1/\Lambda)_o$ следует вычислять в соответствии с 5.6.3 для дополнительных слоев всесторонней тепловой изоляции. Нельзя считать, что слои воздуха толщиной менее 1 см создадут дополнительное термическое сопротивление $(1/\Lambda)_o$. В случае вентилируемой оболочки для всех слоев, расположенных с наружной стороны вентилируемой прослойки, обычно применяют $(1/\Lambda)_o = 0$.

(Измененная редакция, А2:2008)

Примечание — Значение $(1/\Lambda)_o = 0,1$ (м²·К)/Вт допускается использовать без доказательств, если отрезок дымовой трубы, расположенный над крышей, заключен в кирпичную кладку (коэффициент теплопроводности $\lambda \leq 0,85$ Вт/(м·К)), минимальная толщина которой 11,5 см, или имеет со всех сторон менее 3 см дополнительной тепловой изоляции (коэффициент теплопроводности $\lambda \leq 0,1$ Вт/(м·К)).

6 Вторичный воздух для дымовых труб отрицательного давления

6.1 Общие положения

Если при вычислении температуры внутренней поверхности по формуле (44) или (46) требования по температуре в соответствии с 5.3 не могут быть удовлетворены без введения вторичного воздуха в дымовую трубу, то допускается обеспечить выполнение этих требований путем введения вторичного воздуха. В этом случае следует продолжить вычисление, чтобы установить возможность выполнения требования по температуре введением вторичного воздуха в дымовую трубу.

Если при вычислении давления по формулам (28а) и (35а) требования по давлению в соответствии с 5.2 для максимальной тяги (2а) не могут быть выполнены без введения вторичного воздуха в дымовую трубу, то допускается обеспечить выполнение этих требований путем введения вторичного воздуха. В этом случае следует продолжить вычисление, чтобы установить возможность выполнения требования по давлению для максимальной тяги введением вторичного воздуха в дымовую трубу.

(Измененная редакция, А2:2008)

Это тот случай, когда при вычислении требования по давлению для минимальной тяги соотношения (1) и (2) выполняют в соответствии с 5.2 без вторичного воздуха.

(Измененная редакция, А2:2008)

6.2 Методика расчета

Расчет следует выполнять по отрезкам, начиная от дымоотводящего патрубка отопительного устройства до места установки устройства для подачи вторичного воздуха и далее до выхода из дымовой трубы, изменив при этом значения массового потока и состав дымовых газов, а также температуру.

Для учета вторичного воздуха его массовый поток следует добавить к массовому потоку дымовых газов. Температуру смешения и состав вторичной дымовоздушной газовой смеси за впускным отверстием вторичного воздуха следует вычислять из температуры и состава дымовых газов и вторичного воздуха. Дополнительно следует вычислить физические свойства вторичной дымовоздушной смеси (c_p , R , η_A , T_p , λ_A) в зависимости от ее состава.

Вычисление с использованием предполагаемого потока вторичного воздуха следует многократно повторять до тех пор, пока не будут выполнены операционные требования или до тех пор, пока полностью не будет израсходован избыток тяги ($P_Z = P_{Ze}$ или $P_{Zmax} = P_{Zemax}$).

(Измененная редакция, А2:2008)

Для газового отопительного устройства, оборудованного тягопрерывателем, в дополнение к заданному массовому потоку дымовых газов следует принимать во внимание только вторичный воздух.

6.3 Основные параметры для расчета вторичного воздуха

6.3.1 Общие положения

Температуру вторичного воздуха T_{NL} следует принимать равной температуре воздуха в том месте, откуда поступает этот воздух.

Для проверки выполнения требований по температуре следует вычислить температуру наружного воздуха при $T_L = T_{uo}$ (см. 5.7.1.3). При вычислении массового потока вторичного воздуха для удовлетворения требования по температуре следует использовать значения температуры окружающего воздуха в соответствии с 5.7.1.3.

(Измененная редакция, А2:2008)

6.3.2 Расчет смеси

Массовый поток дымовых газов после подмешивания вторичного воздуха \dot{m}_M следует определять по формуле

$$\dot{m}_M = \dot{m} + \dot{m}_{NL}. \quad (47)$$

Температуру дымовых газов после подмешивания вторичного воздуха T_M следует определять по формуле

$$T_M = \frac{\dot{m}c_{pA}T_A + \dot{m}_{NL}c_{pNL}T_{NL}}{\dot{m}c_{pA} + \dot{m}_{NL}c_{pNL}}. \quad (48)$$

Объемные концентрации CO_2 и H_2O после подмешивания вторичного воздуха получают по формулам:

$$\sigma(\text{CO}_2)_M = \frac{\dot{m}R \cdot [100 - \sigma(\text{H}_2\text{O})] \cdot \sigma(\text{CO}_2)}{\dot{m}R \cdot [100 - \sigma(\text{H}_2\text{O})] + \dot{m}_{NL}R_L \cdot [100 - \sigma(\text{H}_2\text{O})_{NL}]}, \quad (49)$$

$$\sigma(\text{H}_2\text{O})_M = \frac{\dot{m}R\sigma(\text{H}_2\text{O}) + \dot{m}_{NL}R_L\sigma(\text{H}_2\text{O})_{NL}}{\dot{m}R + \dot{m}_{NL}R_L}. \quad (50)$$

Содержание водяного пара во вторичном воздухе принимают равным 1,1 %. Это значение соответствует относительной влажности 60 % при 15 °С.

- Где c_{pA} — удельная теплоемкость дымовых газов перед подмешиванием вторичного воздуха, Дж/(кг·К);
- c_{pNL} — удельная теплоемкость вторичного воздуха, Дж/(кг·К);
- \dot{m} — массовый поток дымовых газов перед подмешиванием вторичного воздуха, кг/с;
- \dot{m}_{NL} — массовый поток вторичного воздуха, кг/с;
- \dot{m}_M — массовый поток дымовых газов после подмешивания вторичного воздуха, кг/с;
- R — газовая постоянная дымовых газов перед подмешиванием вторичного воздуха, Дж/(кг·К);
- R_L — газовая постоянная воздуха, Дж/(кг·К);
- T_A — температура дымовых газов перед подмешиванием вторичного воздуха, К;
- T_M — температура дымовых газов после подмешивания вторичного воздуха, К;
- T_{NL} — температура вторичного воздуха, К;
- $\sigma(\text{H}_2\text{O})$ — объемная концентрация H_2O (водяного пара) в дымовых газах перед подмешиванием вторичного воздуха, %;
- $\sigma(\text{H}_2\text{O})_M$ — объемная концентрация H_2O (водяного пара) в дымовых газах после подмешивания вторичного воздуха, %;
- $\sigma(\text{CO}_2)$ — объемная концентрация CO_2 в дымовых газах перед подмешиванием вторичного воздуха, %;
- $\sigma(\text{CO}_2)_M$ — объемная концентрация CO_2 в дымовых газах после подмешивания вторичного воздуха, %;
- $\sigma(\text{H}_2\text{O})_{NL}$ — объемная концентрация H_2O (водяного пара) во вторичном воздухе, %.

6.4 Давление

6.4.1 Сопротивление притоку воздуха с учетом вторичного воздуха P_{BNL}

Для помещений без вентиляционных отверстий сопротивление притоку воздуха P_{BNL} с учетом вторичного воздуха при номинальной тепловой мощности определяют по формуле

$$P_{BNL} = P_B \cdot \left(1 + \frac{\dot{m}_{NL}}{\beta \dot{m}} \right)^{1.5}, \quad (51)$$

где \dot{m}_{NL} — массовый поток вторичного воздуха, кг/с;

\dot{m} — массовый поток дымовых газов перед подмешиванием вторичного воздуха, кг/с;

P_B — сопротивление притоку воздуха без учета вторичного воздуха (см. 5.11.3), Па;

β — отношение массового потока воздуха, подаваемого на горение, к массовому потоку дымовых газов (см. 5.11.3).

Если воздух, подаваемый на горение, проходит через вентиляционные отверстия или трубы с постоянным по всей длине поперечным сечением, то P_{BNL} определяют по формуле

$$P_{BNL} = S_{EB} \cdot \left(\psi_{BNL} \cdot \frac{L_B}{D_{hB}} + \sum_n \zeta_{B,n} \right) \cdot \frac{\rho_B}{2} \cdot w_{BNL}^2, \quad (52)$$

где D_{hB} — внутренний гидравлический диаметр вентиляционных отверстий или приточного воздуховода (см. 5.11.3), м;

L_B — длина вентиляционных отверстий или приточного воздуховода (см. 5.11.3), м;

S_{EB} — коэффициент стабильности потока для подвода воздуха (см. 5.11.3);

w_{BNL} — скорость в вентиляционных отверстиях или приточных воздуховодах с учетом вторичного воздуха, м/с;

ρ_B — плотность воздуха, подаваемого на горение, и вторичного воздуха (см. 5.11.3), кг/м³;

ψ_{BNL} — коэффициент трения трубы вентиляционных каналов или подводящего воздуховода с учетом вторичного воздуха;

$\sum_n \zeta_{B,n}$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений вентиляционных каналов или подачи приточного воздуховода (см. 5.11.3).

Коэффициент трения вентиляционных отверстий или приточного воздуховода ψ_{BNL} , с учетом вторичного воздуха, следует определять в соответствии с 5.10.3.3.

(Измененная редакция, А2:2008)

Скорость в вентиляционных отверстиях или приточном воздуховоде, с учетом вторичного воздуха, w_{BNL} следует определять по формуле

$$w_{BNL} = \frac{\beta \dot{m} + \dot{m}_{NL}}{A_B \rho_B}, \quad (53)$$

где A_B — поперечное сечение вентиляционных каналов или приточного воздуховода (см. 5.11.3), м²;

\dot{m} — массовый поток дымовых газов перед подмешиванием вторичного воздуха, кг/с;

\dot{m}_{NL} — массовый поток вторичного воздуха, кг/с;

β — отношение массового потока воздуха на горение к массовому потоку дымовых газов (см. 5.11.3);

ρ_B — плотность воздуха, подаваемого на горение, и вторичного воздуха (см. 5.11.3), кг/м³.

6.4.2 Тяга для устройств вторичного воздуха P_{NL}

Тягу регулятора P_{NL} определяют по формуле

$$P_{NL} = \alpha_0 + \alpha_1 \dot{m}_{NL} + \alpha_2 \dot{m}_{NL}^2 + S_E \cdot (1 + \zeta_{2-3}) \cdot \frac{\rho_M}{2} \cdot w_M^2. \quad (54)$$

Тягу прерывателя P_{NL} определяют по формуле

$$P_{NL} = P_W \cdot \left(\frac{\dot{m}_{NL} + \dot{m}}{m} \right)^2, \quad (55)$$

- где α_0 — значение номинальной мощности регулятора тяги;
 α_1 — рабочий параметр устройств вторичного воздуха (регулятор тяги) (см. таблицу В.7 (приложение В));
(Измененная редакция, А2:2008)
 α_2 — параметр характеристики устройств вторичного воздуха (регулятор тяги) (см. таблицу В.7 (приложение В)), Па/(кг·с);
(Измененная редакция, А2:2008)
 \dot{m}_{NL} — массовый поток вторичного воздуха, кг/с;
 \dot{m} — массовый поток дымовых газов, кг/с;
 P_W — минимальная тяга отопительного устройства, Па;
 S_E — коэффициент стабильности потока;
 w_M — скорость смеси дымовых газов после подмешивания вторичного воздуха, м/с;
 ρ_M — плотность смеси дымовых газов после подмешивания вторичного воздуха, кг/м³;
 ζ_{2-3} — местный коэффициент сопротивления входного отверстия вторичного воздуха (см. таблицу В.7, № 5 (приложение В)).

Значение номинальной мощности регулятора тяги α_0 следует получить из суммы минимальной или максимальной тяги отопительного устройства P_W или P_{Wmax} и с учетом расстояния до устройства вторичного воздуха.

(Измененная редакция, А2:2008)

Для проверки требований по температуре действительны следующие соотношения:

$$\text{— при } P_W + P_{FV1} < 10 \quad a_0 = 10; \quad (56)$$

$$\text{— при } P_W + P_{FV1} \geq 10 \quad a_0 = P_W + P_{FV1}. \quad (57)$$

Для проверки требований по давлению для максимальной тяги действительно следующее соотношение:

$$a_0 = P_{Wmax} + P_{FV1}, \quad (57a)$$

где P_{FV1} — сопротивление части присоединительного дымоотвода, расположенной перед регулятором тяги, Па;

P_W — минимальная тяга отопительного устройства, Па;

P_{Wmax} — максимальная тяга отопительного устройства, Па.

(Измененная редакция, А2:2008)

6.4.3 Сопротивление части присоединительного дымоотвода, расположенной перед устройством подвода вторичного воздуха P_{FV1}

Сопротивление части присоединительного дымоотвода, расположенной перед регулятором тяги, P_{FV1} следует определять в соответствии с 5.11.2.

Примечание — Если регулятор тяги находится в дымовой трубе, отрезок дымовой трубы до регулятора тяги можно рассматривать как отдельную часть и использовать параметры, относящиеся к дымовой трубе. Для прерывателя тяги $P_{FV1} = 0$.

6.4.4 Требование по давлению при наличии вторичного воздуха

Минимально необходимую тягу или максимально возможную тягу на входе дымовых газов в дымовую трубу, P_{Ze} или P_{Zemax} , следует определять для каждого массового потока вторичного воздуха и сравнивать ее с тягой P_Z или P_{Zmax} в этой точке.

Для контроля выполнения требований по температуре следует выполнить равенство

$$P_Z = P_H - P_R - P_L \geq P_{BNL} + P_{NL} + P_{FV2} = P_{Ze}. \quad (58)$$

Для того, чтобы требования по давлению для максимальной тяги были удовлетворены, должно быть выполнено следующее равенство

$$P_{Zmax} = P_H - P_R \leq P_{BNL} + P_{NL} + P_{FV2} = P_{Zemax}, \quad (58a)$$

(Измененная редакция, А2:2008)

где P_{BNL} — тяга для подачи приточного и вторичного воздуха, Па;

P_{FV2} — сопротивление части присоединительного дымоотвода, расположенной после регулятора или после прерывателя тяги, Па;

P_H — теоретическая тяга вследствие эффекта дымовой трубы, Па;

P_L — ветровое давление, Па;

(Измененная редакция, А2:2008)

P_{NL} — тяга регулятора или прерывателя тяги, Па;

P_R — сопротивление дымовой трубы, Па.

Примечание — Значения P_H и P_R в формулах (58) и (58а) могут отличаться друг от друга из-за различия условий.
(Измененная редакция, А2:2008)

Для регулятора тяги, расположенного в дымовой трубе выше входа дымовых газов, должны выполняться требования по давлению после регулятора тяги.

6.5 Требование по температуре с учетом вторичного воздуха

Требование по температуре на выходе из дымовой трубы должно быть удовлетворено в соответствии с 5.8 и 5.12 с использованием физических свойств смеси дымовых газов и вторичного воздуха.

7 Методика расчета сбалансированной дымовой трубы

(Измененная редакция, А1:2002)

7.1 Общие принципы

Вычисление внутренних размеров (поперечного сечения) дымовых труб отрицательного давления основано на следующих условиях:

— минимальная тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу должна быть больше или равна минимально необходимой тяге на входе дымовых газов в дымовую трубу;

— минимальная тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу должна быть больше или равна сопротивлению на выходе из канала приточного воздуха;

— максимальная тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу должна быть меньше или равна максимально допустимой тяге на входе дымовых газов в дымовую трубу;

— температура внутренней поверхности на выходе из дымовой трубы должна быть больше или равна предельной температуре.

Вычисление внутренних размеров (поперечного сечения) дымовых труб положительного давления основано на следующих условиях:

— максимальное положительное давление на входе дымовых газов в дымовую трубу должно быть меньше или равно максимальному перепаду давлений на входе дымовых газов в дымовую трубу;

— максимальное положительное давление в присоединительном дымоотводе и в дымовой трубе не должно превышать разность между избыточным давлением, на которое они рассчитаны, и давлением окружающего приточного воздуха;

— минимальное положительное давление на входе дымовых газов в дымовую трубу должно быть больше или равно минимальному перепаду давлений на входе дымовых газов в дымовую трубу;

— температура внутренней поверхности на выходе из дымовой трубы должна быть больше или равна предельной температуре.

(Измененная редакция, А2:2008)

Примечание — Требования по давлению для максимальной тяги или минимального положительного давления необходимы только в том случае, если установлен предел по максимальной тяге для отопительного устройства, работающего при отрицательном давлении, или минимальный перепад давления для отопительного устройства, работающего при положительном давлении.

(Измененная редакция, А2:2008)

Для подтверждения указанных условий используют два набора внешних условий:

— вычисление минимальной тяги и максимального положительного давления выполняют для условий, когда тепловая нагрузка на дымовую трубу минимальна (т. е. высокая наружная температура);

— вычисление максимальной тяги и минимального положительного давления, а также температуры внутренней поверхности выполняют для условий, когда температура внутри дымовой трубы минимальна (т. е. низкая наружная температура).

(Измененная редакция, А2:2008)

При расчете сбалансированная дымовая труба и ее канал приточного воздуха должны быть разделены на N_{seg} отрезков равной длины, при этом максимальная длина отрезка должна составлять 0,5 м. Если термическое сопротивление между дымовой трубой (дымовым каналом) и каналом приточного воздуха превышает $0,65 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ($N_{seg} = 1$), то деление на отрезки не требуется.

Присоединительные дымоотвод и приточный воздуховод следует разделить на $N_{seg} V$ отрезков равной длины, при этом максимальная длина отрезка должна составлять 0,5 м. Если термическое

сопротивление между присоединительным дымоотводом и присоединительным приточным воздуховодом превышает $0,65 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ ($N_{\text{seg}} V = 1$), то деление на отрезки не требуется.

7.2 Требования по давлению

Соотношения (1), (2а) и (59) для дымовых труб отрицательного давления и соотношения (3), (5а), (60) и (61) для дымовых труб положительного давления должны выполняться для всех соответствующих рабочих условий.

(Измененная редакция, А2:2008)

$$P_Z \geq P_{RB} + P_{HB}, \quad (59)$$

$$P_{ZO} \leq P_{Z\text{excess}} - (P_{RB} + P_{HB}), \quad (60)$$

$$P_{ZO} + P_{FV} \leq P_{ZV\text{excess}} - P_B, \quad (61)$$

где P_Z — тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу, Па;
 P_{ZO} — положительное давление на входе дымовых газов в дымовую трубу, Па;
 P_{RB} — сопротивление канала приточного воздуха, Па;
 P_{HB} — теоретическая тяга вследствие «эффекта дымовой трубы» приточного канала, Па;
 P_{FV} — сопротивление присоединительного дымоотвода, Па;
 $P_{Z\text{excess}}$ — максимально допустимое давление из маркировки дымовой трубы, Па;
 $P_{ZV\text{excess}}$ — максимально допустимое давление из маркировки присоединительного дымоотвода, Па.

Сопротивление притоку воздуха P_B следует вычислять с использованием следующего уравнения:

$$P_B = P_{RB} + P_{HB} + P_{RBV} + P_{HBV}, \quad (62)$$

где P_B — сопротивление притоку воздуха, Па;
 P_{RB} — сопротивление канала приточного воздуха, Па;
 P_{HB} — теоретическая тяга вследствие «эффекта дымовой трубы» канала приточного воздуха, Па;
 P_{RBV} — сопротивление присоединительного приточного воздуховода, Па;
 P_{HBV} — теоретическая тяга вследствие «эффекта дымовой трубы» присоединительного приточного воздуховода, Па.

7.3 Требования по температуре

Соотношения (6) и (7) должны выполняться.

7.4 Методика расчета

Для вычисления значений давления и температуры по зависимостям, выраженным уравнениями (1), (2а), (3), (5а), (6), (59), (60) и (61), следует получить значения параметров характеристики дымовых газов отопительного устройства в соответствии с 5.5. Параметры, указанные в 7.6, должны быть получены для дымовой трубы, присоединительного дымоотвода, канала приточного воздуха и присоединительного воздуховода. Для новых дымовых труб следует использовать предварительно рассчитанное значение размера дымового канала.

(Измененная редакция, А2:2008)

В 7.7 – 7.11 представлены вычисления, необходимые для завершения теплотехнического и аэродинамического расчета дымовой трубы. Формулы, приведенные в 7.7, обеспечивают вычисления основных параметров, которые необходимы для дальнейших расчетов.

В 5.5.3 и 7.8 приведены формулы для вычисления соответствующих температур. Формулы для плотности дымовых газов и их скорости приведены в 7.9.

Методику, представленную в 7.10 и 11.11, следует использовать для контроля выполнения требований по давлению. Методику, представленную в 5.12, следует использовать для контроля выполнения требований по температуре.

Контроль выполнения требований по давлению и температуре следует производить дважды:

- для номинальной тепловой мощности отопительного устройства;
- для наименьшего значения из диапазона тепловых мощностей, указанного изготовителем отопительного устройства.

7.5 Параметры характеристики дымовых газов отопительного устройства

Параметры характеристики дымовых газов отопительного устройства следует вычислять в соответствии с 5.5.

7.6 Расчетные параметры характеристики

Параметры характеристики следует вычислять в соответствии с 5.6.

Средние значения шероховатости канала приточного воздуха r_B и соединительной приточной трубы r_{BV} должен предоставить изготовитель изделия. Средние значения шероховатости обычно используемых материалов приведены в таблице В.4 (приложение В).

Термическое сопротивление канала приточного воздуха $(1/\Lambda)_B$ и присоединительного воздуховода $(1/\Lambda)_{BV}$ допускается определять в соответствии с 5.6.3 как для дымовых труб. В формуле (10) D_h — это внутренний гидравлическим диаметр канала приточного воздуха D_{hB} или присоединительного воздуховода D_{hBV} .

7.7 Основные вычисляемые значения

7.7.1 Температура воздуха

7.7.1.1 Общие положения

Для дымовых труб, проходящих через обогреваемые зоны, необходимо учитывать различие между температурами наружного и окружающего воздуха.

7.7.1.2 Температура наружного воздуха T_L

Для контроля требований по давлению температуру наружного воздуха T_L для систем отопления вычисляют, как правило, с использованием:

- $T_L = 288,15 \text{ K } (t_L = 15 \text{ }^\circ\text{C})$ — для вычисления минимальной тяги или максимального положительного давления на входе дымовых газов в дымовую трубу;
- $T_L = 258,15 \text{ K } (t_L = -15 \text{ }^\circ\text{C})$ — для вычисления максимальной тяги или минимального положительного давления на входе дымовых газов в дымовую трубу.

(Измененная редакция, А2:2008)

Могут быть использованы другие значения T_L на основе данных национальных стандартов.

7.7.1.3 Температура окружающего воздуха T_u

Для контроля выполнения требований по давлению для минимальной тяги или максимального положительного давления следует использовать температуру окружающего воздуха $T_u = T_L$. Для контроля выполнения требований по давлению для максимальной тяги или минимального положительного давления, а также требований по температуре следует использовать следующие значения температуры окружающего воздуха T_u :

$$T_{uo} = T_L \cdot (t_{uo} = t_L),$$

$$T_{ub} = 288,15 \text{ K } (t_{ub} = 15 \text{ }^\circ\text{C}),$$

$$T_{uh} = 293,15 \text{ K } (t_{uh} = 20 \text{ }^\circ\text{C}),$$

$$T_{ul} = T_{uo} \cdot (t_{ul} = t_{uo}),$$

$$T_{uu} = 273,15 \text{ K } (t_{uu} = 0 \text{ }^\circ\text{C}),$$

где T_{uo} — температура окружающего воздуха на выходе из дымовой трубы, $^\circ\text{C}$;

T_{ub} — температура окружающего воздуха в бойлерной, $^\circ\text{C}$;

T_{uh} — температура окружающего воздуха в отапливаемых помещениях, $^\circ\text{C}$;

T_{ul} — температура окружающего воздуха вне здания, $^\circ\text{C}$;

T_{uu} — температура окружающего воздуха для неотапливаемых помещений внутри здания, $^\circ\text{C}$.

Могут быть использованы другие значения T_{uo} на основе данных национальных стандартов.

7.7.2 Другие исходные данные

Другие исходные данные следует вычислять в соответствии с 5.7.2 – 5.7.6 и 5.7.8.

7.8 Определение температур

7.8.1 Некоаксиальные (раздельные) каналы

Если термическое сопротивление между дымовым каналом и каналом приточного воздуха превышает $0,65 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$, температуру дымовых газов в случае раздельных каналов следует рассчитывать в соответствии с разделом 5. Температуру приточного воздуха внутри воздухопроводов следует принимать равной температуре наружного воздуха.

В других случаях расчет температуры следует выполнять так, как приведено в 7.8.2 или 7.8.3.

7.8.2 Коаксиальные каналы — вычисления на основе поправочного коэффициента на тепловое излучение

7.8.2.1 Общие положения

В случае коаксиальных каналов для вычисления температуры равновесия также следует использовать значения, которые удовлетворяют требованиям по давлению.

Для вычисления значений температуры в концентрическом канале необходимо использовать метод итерации. Рекомендуется начинать вычисление от первого участка присоединительного дымоотвода $j = 1$, используя при этом предварительно рассчитанное значение температуры приточного воздуха на выходе из концентрического присоединительного воздуховода $T_{OBV,1}$. Затем путем итераций, используя уравнение из 7.8.2, производят поиск такого значения $T_{OBV,1}$, при котором выполняется следующее условие:

$$|T_{eB,Nseg} - T_L| \leq \varepsilon, \quad (63)$$

где $T_{OBV,1}$ — температура приточного воздуха на выходе из отрезка 1 присоединительного воздуховода, К;

$T_{eB,Nseg}$ — температура приточного воздуха на входе в отрезок N_{seg} , К;

T_L — температура наружного воздуха, К;

T_{uo} — температура окружающего воздуха на выходе из дымовой трубы, К;

N_{seg} — количество отрезков дымовой трубы, используемое в вычислении;

ε — максимальная сходимость, $\varepsilon \leq 1$ К.

7.8.2.2 Температура в отрезках присоединительного дымоотвода и присоединительного приточного воздуховода

Если термическое сопротивление между присоединительным дымоотводом и присоединительным приточным воздуховодом превышает $0,65 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, то температуру в присоединительном дымоотводе и присоединительном воздуховоде следует рассчитывать в соответствии с разделом 5. Затем температуру $T_{eB,NsegV}$ приточного воздуха на входе в отрезок присоединительного воздуховода $j = N_{segV}$ следует предварительно пересчитать взамен температуры на выходе из отрезка $j = T_{OB,1}$ присоединительного приточного воздуховода (см. 7.8.2.1).

В других случаях определение температур в присоединительном дымоотводе и присоединительном приточном воздуховоде следует выполнять следующим образом.

Температура дымовых газов $T_{eV,1}$ на входе в присоединительный дымоотвод, что означает начало первого отрезка присоединительного дымоотвода $j = 1$, составит:

$$T_{eV,1} = T_W. \quad (64)$$

Температура дымовых газов в начале отрезков присоединительного дымоотвода $j > 1$ составит:

$$T_{eV,j} = T_{oV,j-1}, \quad (65)$$

где $T_{eV,j}$ — температура дымовых газов в начале отрезка j присоединительного дымоотвода, К;

T_W — температура дымовых газов на выходе из отопительного устройства, К;

$T_{oV,j}$ — температура дымовых газов в конце отрезка j присоединительного дымоотвода, К.

Температуру приточного воздуха в конце отрезка $j = T_{OB,1}$ присоединительного воздуховода следует пересчитать (см. 7.8.2.1).

Примечание 1 — В дополнение к контролю требований по температуре дымовой трубы можно также контролировать температуру приточного воздуха $T_{OBV,1}$ в конце отрезка $j = 1$ присоединительного приточного воздуховода, если изготовитель предоставит данные по максимальной температуре воздуха на входе в отопительное устройство.

Температура приточного воздуха T_{OBj} в конце отрезков $j > 1$ присоединительного приточного воздуховода составит:

$$T_{OBV,j} = T_{eBV,j-1}, \quad (66)$$

где T_{OBj} — температура приточного воздуха в конце отрезка j присоединительного приточного воздуховода, К;

$T_{eBV,j}$ — температура приточного воздуха в начале отрезка j присоединительного приточного воздуховода, К.

Температуру дымовых газов $T_{ov,j}$ в конце отрезка j коаксиального присоединительного дымоотвода следует вычислять, используя следующее уравнение:

$$T_{ov,j} = \frac{(2 - K_{V,j}) \cdot (2 - K_{BV,j}) \cdot T_{ev,j} + 2K_{V,j} \cdot (E_{V,j} T_{ev,j} - 2T_{obV,j} + K_{BV,j} T_{uv,j})}{(2 + K_{V,j}) \cdot (2 - K_{VB,j}) - 2K_{V,j} E_{V,j}}, \quad (67)$$

$$E_{V,j} = \frac{\dot{m} c_{pV,j}}{\dot{m}_B c_{pBV,j}}, \quad (68)$$

где $T_{ev,j}$ — температура дымовых газов в начале отрезка j присоединительного дымоотвода, К;
 $T_{obV,j}$ — температура приточного воздуха в конце отрезка j присоединительного приточного воздуховода, К;
 $T_{uv,j}$ — температура окружающего воздуха в отрезке j присоединительного дымоотвода, К;
 $K_{V,j}$ — коэффициент охлаждения отрезка j присоединительного дымоотвода;
 $K_{BV,j}$ — коэффициент охлаждения отрезка j присоединительного приточного воздуховода;
 \dot{m} — массовый поток дымовых газов, кг/с;
 $c_{pV,j}$ — удельная теплоемкость дымовых газов в отрезке j присоединительного дымоотвода, Дж/(кг·К);
 \dot{m}_B — массовый поток приточного воздуха, кг/с;
 $c_{pBV,j}$ — удельная теплоемкость приточного воздуха в отрезке j присоединительного приточного воздуховода, Дж/(кг·К);
 $E_{V,j}$ — отношение тепловых потоков дымовых газов и воздуха, подаваемого на горения, в отрезке j присоединительного дымоотвода.

Температуру приточного воздуха в начале отрезка j коаксиального присоединительного приточного воздуховода $T_{ebV,j}$ следует вычислять, используя следующее уравнение:

$$T_{ebV,j} = T_{ev,j} + T_{ov,j} - T_{obV,j} - \frac{2}{K_{V,j}} \cdot (T_{ev,j} - T_{ov,j}), \quad (69)$$

где $T_{ev,j}$ — температура дымовых газов в начале отрезка j присоединительного дымоотвода, К;
 $T_{ov,j}$ — температура дымовых газов в конце отрезка j присоединительного дымоотвода, К;
 $T_{obV,j}$ — температура приточного воздуха в конце участка j присоединительного приточного воздуховода, К;
 $K_{V,j}$ — коэффициент охлаждения дымового канала отрезка j присоединительного дымоотвода.

Примечание — Уравнения, приведенные выше, получены при условии, что теплообмен приближенно можно рассчитать по разности средних температур.

Температуру дымовых газов, усредненную по длине отрезка j коаксиального присоединительного дымоотвода $T_{mv,j}$, следует вычислять по формуле

$$T_{mv,j} = \frac{T_{ev,j} + T_{ov,j}}{2}, \quad (70)$$

где $T_{ev,j}$ — температура дымовых газов в начале отрезка j присоединительного дымоотвода, К;
 $T_{ov,j}$ — температура дымовых газов в конце отрезка j присоединительного дымоотвода, К.

Температуру приточного воздуха, усредненную по длине отрезка j коаксиального присоединительного приточного воздуховода $T_{mbV,j}$, следует вычислять по формуле

$$T_{mbV,j} = \frac{T_{ebV,j} + T_{obV,j}}{2}, \quad (71)$$

где $T_{ebV,j}$ — температура приточного воздуха в начале отрезка j присоединительного приточного воздуховода, К;
 $T_{obV,j}$ — температура приточного воздуха в конце отрезка j присоединительного приточного воздуховода, К.

7.8.2.3 Температура в отрезках дымовой трубы и приточного канала

Температура дымовых газов на входе в дымовую трубу $T_{e,1}$, т. е. в начале первого отрезка $j = 1$ дымовой трубы:

$$T_{e,1} = T_{oV,NsegV} \quad (72)$$

Температура дымовых газов $T_{e,j}$ в начале отрезка $j > 1$ дымовой трубы:

$$T_{e,j} = T_{o,j-1} \quad (73)$$

где $T_{e,j}$ — температура дымовых газов в начале участка j дымовой трубы, К;
 $T_{oV,NsegV}$ — температура дымовых газов в конце отрезка N_{segV} присоединительного дымоотвода, К;
 $T_{o,j}$ — температура дымовых газов в конце участка j дымовой трубы, К.

Температура приточного воздуха $T_{oB,1}$ в конце отрезка $j = 1$ канала приточного воздуха:

$$T_{oB,1} = T_{eBV,NsegV} \quad (74)$$

Температура приточного воздуха $T_{oB,j}$ в конце отрезков $j > 1$ канала приточного воздуха:

$$T_{oB,j} = T_{eB,j-1} \quad (75)$$

где $T_{oB,j}$ — температура приточного воздуха в конце отрезка j канала приточного воздуха, К;
 $T_{eBV,NsegV}$ — температура приточного воздуха в начале присоединительного приточного воздуховода N_{segV} , К;
 $T_{eB,j}$ — температура приточного воздуха в начале отрезка j приточного воздуха, К.

Температуру дымовых газов в конце отрезка j коаксиальной дымовой трубы $T_{o,j}$ следует вычислять по формуле

$$T_{o,j} = \frac{(2 - K_{j,j}) \cdot (2 - K_{B,j}) \cdot T_{e,j} + 2K_{j,j} \cdot (E_{j,j} T_{e,j} - 2T_{oB,j} + K_{B,j} T_{u,j})}{(2 + K_{j,j}) \cdot (2 - K_{B,j}) - 2K_{j,j} E_{j,j}} \quad (76)$$

$$E_{j,j} = \frac{\dot{m} c_{p,j}}{\dot{m}_B c_{pB,j}} \quad (77)$$

где $T_{e,j}$ — температура дымовых газов в начале отрезка j дымовой трубы, К;
 $T_{oB,j}$ — температура приточного воздуха в конце отрезка j канала приточного воздуха, К;
 $T_{u,j}$ — температура окружающего воздуха в отрезке j дымовой трубы, К;
 $K_{j,j}$ — коэффициент охлаждения дымового канала отрезка j дымовой трубы;
 $K_{B,j}$ — коэффициент охлаждения канала приточного воздуха отрезка j канала приточного воздуха;
 \dot{m} — массовый поток дымовых газов, кг/с;
 $c_{p,j}$ — удельная теплоемкость дымовых газов в отрезке j дымовой трубы, Дж/(кг·К);
 \dot{m}_B — массовый поток приточного воздуха, кг/с;
 $c_{pB,j}$ — удельная теплоемкость приточного воздуха в отрезке j канала приточного воздуха, Дж/(кг·К);
 $E_{j,j}$ — отношение тепловых потоков дымовых газов и приточного воздуха в отрезке j дымовой трубы.

Температуру приточного воздуха $T_{eB,j}$ в начале отрезка j коаксиального канала следует вычислять по формуле

$$T_{eB,j} = T_{e,j} + T_{o,j} - T_{oB,j} - \frac{2}{K_{j,j}} \cdot (T_{e,j} - T_{o,j}) \quad (78)$$

где $T_{e,j}$ — температура дымовых газов в начале отрезка j дымовой трубы, К;
 $T_{o,j}$ — температура дымовых газов в конце отрезка j дымовой трубы, К;
 $T_{oB,j}$ — температура приточного воздуха в конце отрезка j приточного канала, К;
 $K_{j,j}$ — коэффициент охлаждения дымового канала в отрезке j дымовой трубы.

Примечание — Формулы, приведенные выше, получены при условии, что теплообмен приближенно можно рассчитать по разности средних температур.

Температуру дымовых газов $T_{m,j}$, усредненную по длине отрезка j коаксиальной дымовой трубы, следует вычислять по формуле

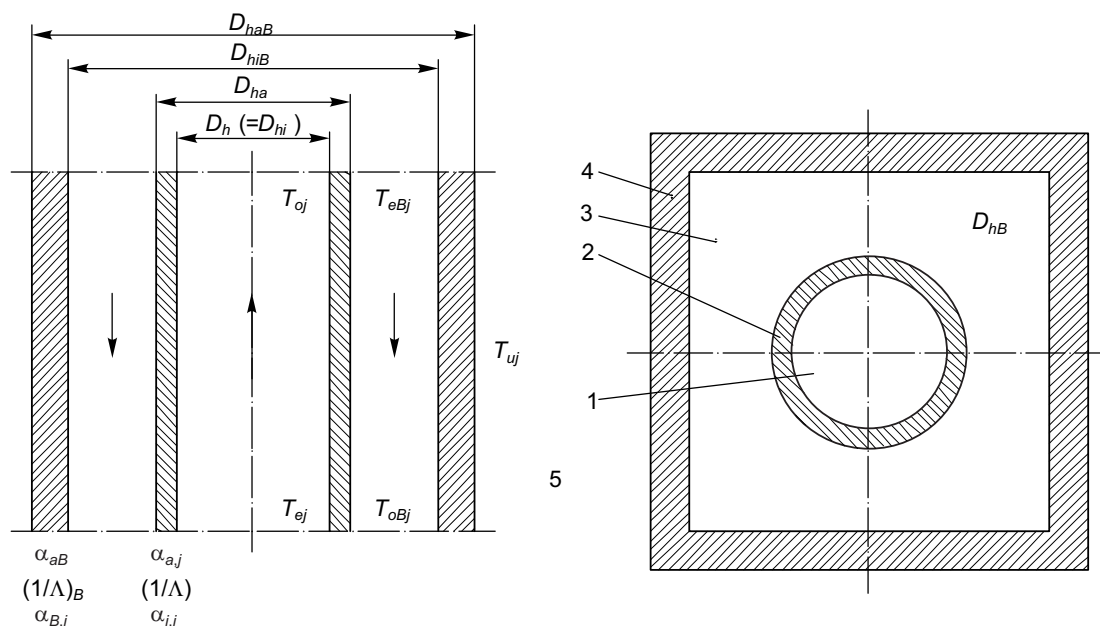
$$T_{m,j} = \frac{T_{ej} + T_{oj}}{2}, \quad (79)$$

где T_{ej} — температура дымовых газов в начале отрезка j дымовой трубы, К;
 T_{oj} — температура дымовых газов в конце отрезка j дымовой трубы, К.

Температуру приточного воздуха $T_{mB,j}$, усредненную по длине отрезка j коаксиального канала приточного воздуха, следует вычислять по формуле

$$T_{mB,j} = \frac{T_{eBj} + T_{oBj}}{2}, \quad (80)$$

где T_{eBj} — температура приточного воздуха в начале отрезка j канала приточного воздуха, К;
 T_{oBj} — температура приточного воздуха в конце отрезка j канала приточного воздуха, К.



- 1 — дымовой канал (с дымовыми газами); 2 — оболочка дымового канала;
 3 — приточный воздуховод (с приточным воздухом); 4 — канал приточного воздуха;
 5 — окружающий воздух

Рисунок 1 — Обозначения, используемые при вычислении концентрических сбалансированных дымоотрубных систем

7.8.2.4 Расчет коэффициента охлаждения

Коэффициент охлаждения дымового канала отрезка j присоединительного дымоотвода $K_{V,j}$ следует вычислять по формуле

$$K_{V,j} = \frac{k_{V,j} U_V L_V}{\dot{m} c_{pV,j} N_{segV}}, \quad (81)$$

где $K_{V,j}$ — коэффициент охлаждения отрезка j присоединительного дымоотвода;
 $k_{V,j}$ — коэффициент теплопередачи между дымовым каналом и воздуховодом в отрезке j присоединительного дымоотвода, Вт/(м²·К);
 U_V — внутренний периметр дымового канала в отрезке j присоединительного дымоотвода, м;
 L_V — длина присоединительного дымоотвода, м;
 \dot{m} — массовый поток дымовых газов, кг/с;
 $c_{pV,j}$ — удельная теплоемкость дымовых газов в отрезке j присоединительного дымоотвода, Дж/(кг·К);
 N_{segV} — количество отрезков присоединительного дымоотвода.

Коэффициент охлаждения присоединительного приточного воздуховода K_{BV} следует вычислять по формуле

$$K_{BV,j} = \frac{k_{BV,j} U_{iBV} L_{BV}}{\dot{m}_B c_{pBV,j} N_{segV}}, \quad (82)$$

- где $K_{BV,j}$ — коэффициент охлаждения отрезка j присоединительного воздуховода;
 $k_{BV,j}$ — коэффициент теплопередачи между приточным воздухом и окружающим в отрезке j присоединительного приточного воздуховода, Вт/(м²·К);
 U_{iBV} — внутренний периметр присоединительного приточного воздуховода, м;
 L_{BV} — длина присоединительного приточного воздуховода, м;
 \dot{m}_B — массовый поток приточного воздуха, кг/с;
 $c_{pBV,j}$ — удельная теплоемкость приточного воздуха в отрезке j присоединительного приточного воздуховода, Дж/(кг·К);
 N_{segV} — количество отрезков присоединительного дымоотвода.

Коэффициент охлаждения отрезка j дымового канала K_{j} следует вычислять по формуле

$$K_{j} = \frac{k_{j} UL}{\dot{m} c_{p,j} N_{seg}}, \quad (83)$$

- где k_{j} — коэффициент теплопередачи между дымовым каналом и приточным воздуховодом в отрезке j дымовой трубы, Вт/(м²·К);
 U — периметр дымового канала, м;
 L — длина отрезка дымовой трубы, м;
 \dot{m} — массовый поток дымовых газов, кг/с;
 $c_{p,j}$ — удельная теплоемкость дымовых газов в отрезке j дымовой трубы, Дж/(кг·К);
 N_{seg} — количество отрезков дымовой трубы.

Коэффициент охлаждения отрезка j приточного воздуховода $K_{B,j}$ следует вычислять по формуле

$$K_{B,j} = \frac{k_{B,j} U_{iB} L_B}{\dot{m}_B c_{pB,j} N_{seg}}, \quad (84)$$

- где $K_{B,j}$ — коэффициент охлаждения канала приточного воздуха в отрезке j дымовой трубы;
 $k_{B,j}$ — коэффициент теплопередачи между приточным воздухом и окружающим в отрезке j дымовой трубы, Вт/(м²·К);
 U_{iB} — внутренний периметр канала приточного воздуха, м;
 L_B — длина канала приточного воздуха, м;
 \dot{m}_B — массовый поток приточного воздуха, кг/с;
 $c_{pB,j}$ — удельная теплоемкость приточного воздуха в отрезке j дымовой трубы, Дж/(кг·К);
 N_{seg} — количество отрезков дымовой трубы.

7.8.2.5 Коэффициент теплопередачи

7.8.2.5.1 Коэффициент теплопередачи между дымовыми газами и приточным воздухом коаксиальной присоединительной трубы $k_{V,j}$

Коэффициент теплопередачи $k_{V,j}$ между дымовыми газами и приточным воздухом в отрезке j присоединительного приточного воздуховода следует вычислять по формуле

$$k_{V,j} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{iV,j}} + \left(\frac{1}{\Lambda}\right)_V + \frac{D_{hV}}{D_{haV} \alpha_{aV,j} S_{rad}}}, \quad (85)$$

- где $k_{V,j}$ — коэффициент теплопередачи между дымовыми газами и приточным воздухом в отрезке j присоединительного дымоотвода, Вт/(м²·К);
 $\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_V$ — термическое сопротивление дымового канала присоединительного дымоотвода, Вт/(м²·К);
 D_{hV} — гидравлический диаметр дымового канала присоединительного дымоотвода, м;
 D_{haV} — наружный гидравлический диаметр дымового канала присоединительного дымоотвода, м;

- α_{iVj} — коэффициент теплообмена между дымовыми газами и внутренней поверхностью дымового канала в отрезке j присоединительного дымоотвода, Вт/(м²·К);
- α_{aVj} — коэффициент теплообмена между приточным воздухом и наружной поверхностью дымового канала в отрезке j присоединительного дымоотвода, Вт/(м²·К);
- S_{rad} — поправочный коэффициент на теплообмен излучением.

Для учета воздействия излучения от наружной поверхности дымового канала на внутреннюю поверхность канала приточного воздуха коаксиальных присоединительных труб вычисление k_V включает поправочный коэффициент на излучение S_{rad} , значение которого должно быть равно 2.

Для коаксиальных присоединительных труб, в которых температура внутренней поверхности дымового канала всегда ниже температуры конденсации дымовых газов, $S_{rad} = 1$.

Коэффициент теплообмена в присоединительной трубе α_{iVj} следует вычислять по формуле

$$\alpha_{iV,j} = \frac{\lambda_{AV,j} Nu_{V,j}}{D_{hV}}, \quad (86)$$

- где D_{hV} — внутренний гидравлический диаметр отрезка j присоединительного дымоотвода, м;
- $Nu_{V,j}$ — число Нуссельта в отрезке j присоединительного дымоотвода;
- $\lambda_{AV,j}$ — коэффициент теплопроводности дымовых газов в отрезке j присоединительного дымоотвода, Вт/(м·К).

Коэффициент теплопроводности дымовых газов λ_{AV} следует вычислять в зависимости от средней температуры дымовых газов в отрезке j присоединительного дымоотвода с использованием выражений, приведенных в таблицах В.1 и В.8 (приложение В).

Среднее по длине отрезка j коаксиального присоединительного дымоотвода число Нуссельта Nu_{Vj} следует вычислять по формуле

$$Nu_{V,j} = \left(\frac{\Psi_{V,j}}{\Psi_{smooth,V,j}} \right)^{0,67} \cdot 0,0214 \cdot (Re_{V,j}^{0,8} - 100) \cdot Pr_{V,j}^{0,4} \cdot \left[1 + \left(\frac{D_{hV}}{L_{totV}} \right)^{0,67} \right], \quad (87)$$

- где D_{hV} — внутренний гидравлический диаметр присоединительного дымоотвода, м;
- L_{totV} — общая длина присоединительного дымоотвода от выхода дымовых газов из отопительного устройства до входа дымовых газов в дымовую трубу, м;
- $Pr_{V,j}$ — число Прандтля;
- $Re_{V,j}$ — число Рейнольдса;
- $\Psi_{V,j}$ — коэффициент сопротивления вследствие трения для возмущенного потока (см. 7.10.3.3);
- $\Psi_{smooth,V,j}$ — коэффициент сопротивления вследствие трения для невозмущенного потока (см. 7.10.3.3 для $r = 0$).

Указанное уравнение применяют при $2300 < Re_{V,j} < 10\,000\,000$ и $\left(\frac{\Psi_{V,j}}{\Psi_{smooth,V,j}} \right) < 3$, а также при $0,6 < Pr_{V,j} < 1,5$.

При средней скорости дымовых газов $w_{mVj} < 0,5$ м/с используют число Нуссельта, соответствующее $w_{mVj} = 0,5$ м/с.

Для чисел Рейнольдса менее 2300 используют число Нуссельта, соответствующее $Re_{V,j} = 2300$.

Число Прандтля $Pr_{V,j}$ следует вычислять по формуле

$$Pr_{V,j} = \frac{\eta_{AV,j} c_{pV,j}}{\lambda_{AV,j}}. \quad (88)$$

Число Рейнольдса $Re_{V,j}$ следует вычислять по формуле

$$Re_{V,j} = \frac{w_{mV,j} D_{hV} \rho_{mV,j}}{\eta_{AV,j}}, \quad (89)$$

- где $c_{pV,j}$ — удельная теплоемкость дымовых газов, Дж/(кг·К);
- D_{hV} — внутренний гидравлический диаметр присоединительного дымоотвода, м;

- $w_{mV,j}$ — средняя скорость дымовых газов (7.9.1);
 $\eta_{AV,j}$ — динамическая вязкость дымовых газов, Н·с/м²;
 $\lambda_{AV,j}$ — коэффициент теплопроводности дымовых газов, Вт/(м·К);
 $\rho_{mV,j}$ — средняя плотность дымовых газов (7.9.1).

Динамическую вязкость $\eta_{AV,j}$ следует рассчитывать в зависимости от температуры дымовых газов, используя формулу (В.10) (приложение В).

В случае дымовых труб, эксплуатируемых во влажных условиях, коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности $\alpha_{iV,j}$ определяют аналогично, если не учитывается теплота конденсации.

Для $\alpha_{aV,j}$ следует использовать формулу

$$\alpha_{aV,j} = \frac{\lambda_{BV,j} Nu_{aV,j}}{D_{hBV}}, \quad (90)$$

$$D_{hBV} = \frac{4A_{BV}}{U_{aV} + U_{iBV}}, \quad (91)$$

$$Nu_{aV,j} = 0,86 \cdot \left(\frac{D_{hBV}}{D_{hVa}} \right)^{0,16} \cdot Nu_{BV,j}, \quad (92)$$

$$Nu_{BV,j} = \left[\frac{\Psi_{BV,j}}{\Psi_{smooth,BV,j}} \right]^{0,67} \cdot 0,0214 \cdot (Re_{BV,j}^{0,8} - 100) \cdot Pr_{BV,j}^{0,4} \cdot \left(1 + \frac{D_{hBV}}{L_{totBV}} \right)^{0,67}, \quad (93)$$

$$Re_{BV,j} = \frac{w_{mBV,j} D_{hBV} \rho_{mBV,j}}{\eta_{BV,j}}, \quad (94)$$

- где $\lambda_{BV,j}$ — теплопроводность приточного воздуха в отрезке j коаксиального присоединительного приточного воздуховода, Вт/(м·К);
- $Nu_{aV,j}$ — число Нуссельта для наружной поверхности дымового канала присоединительного приточного воздуховода;
- D_{hBV} — гидравлический диаметр присоединительного приточного воздуховода, м;
- A_{BV} — площадь поперечного сечения присоединительного приточного воздуховода, м²;
- D_{hVa} — наружный гидравлический диаметр дымового канала присоединительного дымоотвода, м;
- U_{iBV} — внутренний периметр присоединительного приточного воздуховода, м;
- U_{aVi} — наружный периметр присоединительного приточного воздуховода, м;
- $Nu_{BV,j}$ — число Нуссельта для эталонного потока в трубе для отрезка j присоединительного приточного воздуховода;
- $\Psi_{BV,j}$ — наибольшее из значений коэффициента трения на внутренней поверхности канала приточного воздуха и на наружной поверхности дымового канала в отрезке j присоединительного дымоотвода;
- $\Psi_{smooth,BV,j}$ — коэффициент трения в отрезке j присоединительного приточного воздуховода для невозмущенного потока;
- $Re_{BV,j}$ — число Рейнольдса для подвода воздуха в отрезке j присоединительного приточного воздуховода;
- $Pr_{BV,j}$ — число Прандтля для приточного воздуха в отрезке j присоединительного приточного воздуховода;
- L_{totBV} — общая длина присоединительного приточного воздуховода от выхода приточного воздуха из канала приточного воздуха до входа приточного воздуха в отопительное устройство, м;
- $w_{mBV,j}$ — средняя скорость дымовых газов приточного воздуха в отрезке j присоединительного приточного воздуховода (7.9.2), м/с;
- $\rho_{mBV,j}$ — средняя плотность приточного воздуха в отрезке j присоединительного приточного воздуховода, кг/м³;
- $\eta_{BV,j}$ — динамическая вязкость приточного воздуха в отрезке j присоединительного приточного воздуховода, Н·с/м².

7.8.2.5.2 Коэффициент теплопередачи между приточным воздухом и окружающим воздухом для коаксиальных присоединительных труб $k_{BV,j}$

Коэффициент теплопередачи между приточным и окружающим воздухом для коаксиальных присоединительных труб $k_{BV,j}$ следует вычислять по формуле

$$k_{BV,j} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{iBV,j}} + \left(\frac{1}{\Lambda}\right)_{BV} + \frac{D_{hiBV}}{D_{haBV} \alpha_{aBV,j}}}, \quad (95)$$

- где $k_{BV,j}$ — коэффициент теплопередачи между приточным и окружающим воздухом для отрезка j присоединительного дымоотвода, Вт/(м²·К);
 $\alpha_{iBV,j}$ — коэффициент теплообмена между приточным воздухом и внутренней поверхностью канала приточного воздуха для отрезка j присоединительного дымоотвода, Вт/(м²·К);
 $\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_{BV}$ — термическое сопротивление присоединительного приточного воздуховода, Вт/(м²·К);
 D_{hiBV} — внутренний гидравлический диаметр присоединительного приточного воздуховода, м;
 D_{haBV} — наружный гидравлический диаметр присоединительного приточного воздуховода, м;
 $\alpha_{aBV,j}$ — коэффициент теплообмена между наружной поверхностью отрезка j присоединительного приточного воздуховода и окружающим воздухом, Вт/(м²·К).

Для вычисления $\alpha_{iBV,j}$ следует использовать формулу

$$\alpha_{iBV,j} = \frac{\lambda_{BV,j} Nu_{iBV,j}}{D_{hBV}}, \quad (96)$$

$$Nu_{iBV,j} = \left[1 - 0,14 \cdot \left(\frac{D_{haV}}{D_{hiB}}\right)^{0,6} \right] \cdot Nu_{BV,j}, \quad (97)$$

- где D_{hBV} — см. формулу (91);
 $Nu_{BV,j}$ — см. формулу (93);
 $\lambda_{BV,j}$ — теплопроводность приточного воздуха в отрезке j присоединительного приточного воздуховода, Вт/(м·К);
 $Nu_{BV,j}$ — число Нуссельта для эталонного потока в трубе в отрезке j присоединительного приточного воздуховода;
 $Nu_{iBV,j}$ — число Нуссельта внутри отрезка j присоединительного приточного воздуховода;
 D_{hBV} — гидравлический диаметр присоединительного приточного воздуховода;
 D_{hiBV} — внутренний гидравлический диаметр присоединительного приточного воздуховода;
 D_{haV} — наружный гидравлический диаметр дымового канала присоединительного дымоотвода.

7.8.2.5.3 Коэффициент теплопередачи между дымовым каналом и приточным воздуховодом для коаксиальных каналов k_j

Коэффициент теплопередачи между дымовым каналом и приточным воздуховодом для коаксиальных каналов k_j (см. рисунок 1) следует вычислять по формуле

$$k_j = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{i,j}} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{D_h}{D_{ha} \alpha_{a,j} S_{rad}}}, \quad (98)$$

- где k_j — коэффициент теплопередачи между дымовым каналом и приточным воздуховодом в отрезке j дымовой трубы, Вт/(м²·К);
 $\alpha_{i,j}$ — коэффициент теплообмена между дымовыми газами и внутренней поверхностью дымового канала в отрезке j дымовой трубы, Вт/(м²·К);
 $\alpha_{a,j}$ — коэффициент теплообмена между приточным воздухом и наружной поверхностью дымового канала в отрезке j дымовой трубы, Вт/(м²·К);
 D_h — гидравлический диаметр дымового канала, м;
 D_{ha} — наружный гидравлический диаметр дымового канала, м;

- $\frac{1}{\Lambda}$ — термическое сопротивление дымового канала, Вт/(м²·К);
 S_{rad} — поправочный коэффициент на излучение от наружной поверхности дымового канала на внутреннюю поверхность канала приточного воздуха.

Для учета воздействия излучения от наружной поверхности дымового канала на внутреннюю поверхность канала приточного воздуха коаксиальных присоединительных труб расчет k_V включает поправочный коэффициент на излучение S_{rad} , значение которого должно быть равно 2.

Для отрезков дымовых труб, в которых температура внутренней поверхности дымового канала всегда ниже температуры конденсации дымовых газов, $S_{rad} = 1$.

Коэффициент теплообмена в отрезке дымовой трубы $\alpha_{i,j}$ следует вычислять по формуле

$$\alpha_{i,j} = \frac{\lambda_{A,j} Nu_j}{D_h}, \quad (99)$$

- где $\lambda_{A,j}$ — коэффициент теплопроводности дымовых газов в отрезке j дымовой трубы, Вт/(м·К);
 Nu_j — число Нуссельта для дымового канала в отрезке j дымовой трубы;
 D_h — внутренний гидравлический диаметр дымового канала, м.

Коэффициент теплопроводности дымовых газов $\lambda_{A,j}$ следует рассчитывать в зависимости от средней температуры дымовых газов, используя формулы, приведенные в таблицах В.1 и В.8 (приложение В).

Среднее по высоте дымовой трубы число Нуссельта Nu_j следует вычислять по формуле

$$Nu_j = \left(\frac{\Psi_j}{\Psi_{smooth,j}} \right)^{0,67} \cdot 0,0214 \cdot (Re_j^{0,8} - 100) \cdot Pr_j^{0,4} \cdot \left[1 + \left(\frac{D_h}{L_{tot}} \right)^{0,67} \right], \quad (100)$$

- где Ψ_j — коэффициент сопротивления вследствие трения для возмущенного потока в отрезке j дымовой трубы (7.10.2.2);
 $\Psi_{smooth,j}$ — коэффициент сопротивления вследствие трения для невозмущенного потока в отрезке j дымовой трубы (см. 7.10.2.2 для $r = 0$);
 Re_j — число Рейнольдса для дымовых газов в отрезке j дымовой трубы;
 Pr_j — число Прандтля для дымовых газов в отрезке j дымовой трубы;
 D_h — внутренний гидравлический диаметр дымового канала, м;
 L_{tot} — общая длина от входа дымовых газов в дымовую трубу до выхода из дымовой трубы, м.

Данную формулу применяют при $2300 < Re_j < 10\,000\,000$ и $\left(\frac{\Psi_j}{\Psi_{smooth,j}} \right) < 3$, а также при $0,6 < Pr_j < 1,5$.

При средней скорости дымовых газов $w_{m,j} < 0,5$ м/с используют число Нуссельта, соответствующее $w_{m,j} = 0,5$ м/с.

Для чисел Рейнольдса менее 2300 используют число Нуссельта, соответствующее $Re_j = 2300$.

Число Прандтля Pr_j следует вычислять по формуле

$$Pr_j = \frac{\eta_{A,j} c_{p,j}}{\lambda_{A,j}}. \quad (101)$$

Число Рейнольдса Re следует вычислять по формуле

$$Re_j = \frac{w_{m,j} D_h \rho_{m,j}}{\eta_{A,j}}, \quad (102)$$

- где $c_{p,j}$ — удельная теплоемкость дымовых газов в отрезке j дымовой трубы, Дж/(кг·К);
 D_h — внутренний гидравлический диаметр дымового канала, м;
 $w_{m,j}$ — средняя скорость дымовых газов в отрезке j дымовой трубы (7.9.3), м/с;
 $\eta_{A,j}$ — динамическая вязкость дымовых газов в отрезке j дымовой трубы, Н·с/м²;
 $\lambda_{A,j}$ — коэффициент теплопроводности дымовых газов в отрезке j дымовой трубы, Вт/(м·К);
 $\rho_{m,j}$ — средняя плотность дымовых газов в отрезке j дымовой трубы (7.9.3), кг/м³.

Динамическую вязкость $\eta_{A,j}$ следует вычислять в зависимости от температуры дымовых газов по формуле (В.10) (приложение В).

Если дымовые трубы работают во влажных условиях, коэффициент теплообмена внутри трубы α_{ij} определяют аналогично, если не учитывается теплота конденсации.

Коэффициент теплообмена между приточным воздухом и наружной поверхностью дымового канала в отрезке j дымовой трубы $\alpha_{a,j}$ вычисляют по формуле

$$\alpha_{a,j} = \frac{\lambda_{B,j} Nu_{a,j}}{D_{hB}}, \quad (103)$$

$$D_{hB} = \frac{4A_B}{U_a + U_{iB}}, \quad (104)$$

$$Nu_{a,j} = 0,86 \cdot \left(\frac{D_{hB}}{D_{ha}} \right)^{0,16} \cdot Nu_{B,j}, \quad (105)$$

$$Nu_{B,j} = \left[\frac{\Psi_{B,j}}{\Psi_{smooth,B,j}} \right]^{0,67} \cdot 0,0214 \cdot (Re_{B,j}^{0,8} - 100) \cdot Pr_{B,j}^{0,4} \cdot \left(1 + \frac{D_{hB}}{L_{Btot}} \right)^{0,67}, \quad (106)$$

$$Re_{B,j} = \frac{w_{mB,j} D_{hB} \rho_{mB,j}}{\eta_{B,j}}, \quad (107)$$

- где $\alpha_{a,j}$ — коэффициент теплообмена между приточным воздухом и наружной поверхностью дымового канала в отрезке j дымовой трубы, Вт/(м²·К);
- $\lambda_{B,j}$ — теплопроводность приточного воздуха в отрезке j дымовой трубы, Вт/(м·К);
- $Nu_{a,j}$ — число Нуссельта с наружной стороны дымового канала в отрезке j дымовой трубы;
- D_{hB} — гидравлический диаметр канала приточного воздуха, м;
- A_B — площадь поперечного сечения канала приточного воздуха, м²;
- U_{iB} — внутренний периметр канала приточного воздуха, м;
- U_a — наружный периметр дымового канала, м;
- D_{ha} — наружный гидравлический диаметр дымового канала, м;
- $Nu_{B,j}$ — число Нуссельта для эталонного потока в трубе;
- $\Psi_{B,j}$ — наибольшее из значений коэффициента трения на внутренней поверхности канала приточного воздуха и на наружной поверхности отрезка j дымового канала;
- $\Psi_{smooth,B,j}$ — коэффициент трения при подводе воздуха для невозмущенного потока приточного воздуха в отрезке j дымового канала;
- $Re_{B,j}$ — число Рейнольдса при подводе воздуха в отрезке j приточного воздуховода;
- $Pr_{B,j}$ — число Прандтля для приточного воздуха в отрезке j приточного воздуховода;
- L_{Btot} — общая длина приточного канала от входа приточного воздуха из наружной атмосферы до входа приточного воздуха в присоединительный приточный воздуховод, м;
- $w_{mB,j}$ — средняя скорость приточного воздуха в отрезке j приточного воздуховода, м/с;
- $\rho_{mB,j}$ — плотность приточного воздуха, усредненная по длине отрезка j приточного воздуховода, кг/м³;
- $\eta_{B,j}$ — динамическая вязкость приточного воздуха в отрезке j приточного воздуховода, м²·с.

7.8.2.5.4 Коэффициент теплопередачи между приточным воздухом и окружающим воздухом для коаксиальных каналов $k_{B,j}$

Коэффициент теплопередачи между приточным и окружающим воздухом $k_{B,j}$ в случае коаксиальных каналов следует вычислять по формуле

$$k_{B,j} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{iB,j}} + \left(\frac{1}{\Lambda} \right)_B + \frac{D_{hiB}}{D_{haB} \alpha_{aB,j}}}, \quad (108)$$

- где $k_{B,j}$ — коэффициент теплопередачи между приточным и окружающим воздухом в отрезке j дымовой трубы, Вт/(м²·К);

$\alpha_{iB,j}$ — коэффициент теплообмена между приточным воздухом и внутренней поверхностью канала приточного воздуха в отрезке j дымовой трубы, Вт/(м²·К);

$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_B$ — термическое сопротивление канала приточного воздуха, Вт/(м²·К);

D_{haB} — наружный гидравлический диаметр канала приточного воздуха, м;

D_{hiB} — внутренний гидравлический диаметр канала приточного воздуха, м;

$\alpha_{aB,j}$ — коэффициент теплообмена между наружной поверхностью приточного канала и окружающим воздухом.

Для вычисления $\alpha_{aB,j}$ следует использовать формулу

$$\alpha_{iB,j} = \frac{\lambda_{B,j} Nu_{iB,j}}{D_{hB}}, \quad (109)$$

$$Nu_{iB,j} = \left[1 - 0,14 \cdot \left(\frac{D_{ha}}{D_{hiB}} \right)^{0,6} \right] \cdot Nu_{B,j}, \quad (110)$$

где D_{hB} — см. формулу (104);

$Nu_{B,j}$ — см. формулу (106);

$\lambda_{B,j}$ — теплопроводность приточного воздуха в отрезке j дымовой трубы, Вт/(м·К);

$Nu_{iB,j}$ — число Нуссельта для внутренней поверхности отрезка j приточного воздуховода;

$Nu_{B,j}$ — число Нуссельта для эталонного потока в трубе;

D_{hB} — гидравлический диаметр приточного воздуховода, м;

D_{hiB} — внутренний гидравлический диаметр приточного воздуховода, м;

D_{ha} — наружный гидравлический диаметр дымового канала дымовой трубы, м.

7.8.3 Коаксиальные каналы. Расчет на основе расчетного теплового излучения

7.8.3.1 Общие положения

Радиационный теплообмен в расчете теплообмена между наружной поверхностью облицовки дымового канала и внутренней поверхностью канала приточного воздуха может быть учтен только для ограниченного диапазона температур и для ограниченного диапазона скоростей дымовых газов введением нормированного поправочного на радиационный теплообмен коэффициента. Расчет необходимо проводить с более высокой степенью точности особенно, когда расчетным путем необходимо определить не только поперечное сечение дымового канала, но и теплообмен с приточным воздухом или с прилегающими помещениями. В этом случае необходимо вычислить температуру в дымовой трубе и в канале приточного воздуха, используя метод расчета, учитывающий радиационный теплообмен с большей точностью.

В следующем пункте приведен метод такого расчета. Принципиально возможно решить систему уравнений, которая описывает процесс теплообмена в дымовой трубе с учетом радиационного теплообмена так, как это приведено в 7.8.2, относительно температуры дымовых газов $T_{o,j}$ в конце отрезка j дымовой трубы и температуры $T_{oB,j}$ в конце отрезка канала приточного воздуха j . Так как система уравнений в этом случае значительно сложнее, чем при расчете с использованием нормированного поправочного на радиационный теплообмен коэффициента, то и результаты решения такой системы значительно сложнее, чем в 7.8.2. Принят во внимание тот факт, что в настоящем стандарте практически невозможно привести решение указанной системы уравнений, поэтому приведена только система уравнений, которая дает возможность пользователю решить ее с использованием широко применяемых математических методов. Для получения температуры дымовых газов и приточного воздуха систему уравнений, как правило решают в соответствии с 7.8.2. Можно также получить решения для разных теплообменных процессов, в частности, для теплообмена между дымовой трубой и приточным воздухом, а также между каналом приточного воздуха и окружающим помещением.

7.8.3.2 Система уравнений

Для вычисления температуры дымовых газов в отрезках дымовой трубы и отрезках соединительного дымоотвода при соответствующей температуре приточного воздуха решают систему из 15 уравнений со следующими неизвестными: q_{Cj} , q_{aj} , q_{iBj} , q_{Bj} , q_{uj} , $q_{rad,j}$, T_{mj} , $T_{o,j}$, $T_{ma,j}$, $T_{mB,j}$, $T_{eB,j}$ (или $T_{oB,j}$, в зависимости от типа итерации), $T_{miB,j}$, k^* , k^*_{iBj} , $\alpha_{Rad,j}$.

Тепловой поток в направлении от дымового канала к наружной поверхности дымовой трубы $q_{c,j}$, Вт, следует вычислять по формуле

$$q_{c,j} = \frac{UL}{\left[\frac{1}{\alpha_{i,j}} + \frac{1}{\Lambda} \right] \cdot N_{seg}} \cdot (T_{m,j} - T_{ma,j}), \quad (111)$$

где U — внутренний периметр дымовой трубы, м;
 L — длина дымовой трубы, м;
 $T_{m,j}$ — средняя температура дымовых газов в отрезке j , К;
 $T_{ma,j}$ — средняя температура у наружной поверхности отрезка j дымовой трубы, К;
 $\alpha_{i,j}$ — коэффициент теплообмена внутри дымового канала в отрезке j (см. формулу (99)), Вт/(м²·К);
 $\frac{1}{\Lambda}$ — термическое сопротивление дымового канала, м²·К/Вт;
 N_{seg} — количество отрезков дымовой трубы, используемых в вычислениях.

$$q_{c,j} = \dot{m} c_{p,j} \cdot (T_{e,j} - T_{o,j}), \quad (112)$$

где \dot{m} — массовый поток дымовых газов, кг/с;
 $c_{p,j}$ — удельная теплоемкость дымовых газов в отрезке j , Дж/(кг·К);
 $T_{e,j}$ — температура дымовых газов на входе в отрезок j дымовой трубы, К;
 $T_{o,j}$ — температура дымовых газов на выходе из отрезка j дымовой трубы, К.

Тепловой поток в направлении от наружной поверхности дымовой трубы к приточному воздуху $q_{a,j}$, Вт, следует вычислять по формуле

$$q_{a,j} = \frac{U_a L \alpha_{a,j}}{N_{seg}} \cdot (T_{ma,j} - T_{mB,j}), \quad (113)$$

где U_a — наружный периметр дымовой трубы, м;
 L — длина дымовой трубы, м;
 $\alpha_{a,j}$ — коэффициент теплообмена внутри канала приточного воздуха в отрезке j (со стороны дымовой трубы), Вт/(м²·К);
 $T_{ma,j}$ — средняя температура наружной поверхности дымовой трубы в отрезке j , К;
 $T_{mB,j}$ — средняя температура приточного воздуха в отрезке j , К;
 N_{seg} — количество отрезков дымовой трубы, используемых в вычислениях.

Тепловой поток в направлении от приточного воздуха к внутренней поверхности канала приточного воздуха $q_{iB,j}$, Вт, следует вычислять по формуле

$$q_{iB,j} = \frac{U_{iB} L \alpha_{iB,j}}{N_{seg}} \cdot (T_{mB,j} - T_{miB,j}), \quad (114)$$

где U_{iB} — внутренний периметр канала приточного воздуха, м;
 L — длина дымовой трубы, м;
 $\alpha_{iB,j}$ — коэффициент теплообмена в отрезке j приточного воздуха (со стороны приточного канала), Вт/(м²·К);
 $T_{mB,j}$ — средняя температура приточного воздуха в отрезке j , К;
 $T_{miB,j}$ — средняя температура внутренней поверхности отрезка j канала приточного воздуха, К;
 N_{seg} — количество отрезков дымовой трубы, используемых в вычислениях.

Тепловой поток в направлении к приточному воздуху $q_{B,j}$, Вт, в отрезке j следует вычислять по формуле

$$q_{B,j} = \dot{m}_B c_{pB,j} \cdot (T_{oB,j} - T_{eB,j}), \quad (115)$$

где \dot{m}_B — массовый поток приточного воздуха, кг/с;
 $c_{pB,j}$ — удельная теплоемкость приточного воздуха в отрезке j , Дж/(кг·К);
 $T_{oB,j}$ — температура приточного воздуха на выходе из отрезка j , К;
 $T_{eB,j}$ — температура приточного воздуха на входе в отрезок j , К.

Тепловой поток в направлении от внутренней поверхности канала приточного воздуха к окружающему воздуху $q_{u,j}$, Вт, следует вычислять по формуле

$$q_{u,j} = \frac{U_{iB} L}{\left[\left(\frac{1}{\Lambda} \right)_B + \frac{D_{hiB}}{D_{haB} \alpha_{aB,j}} \right] \cdot N_{seg}} \cdot (T_{miB,j} - T_{u,j}), \quad (116)$$

- где U_{iB} — внутренний периметр канала приточного воздуха, м;
 L — длина дымовой трубы, м;
 $T_{miB,j}$ — средняя температура внутренней поверхности отрезка j канала приточного воздуха, К;
 $T_{u,j}$ — температура окружающего воздуха в отрезке j , К;
 $\left(\frac{1}{\Lambda} \right)_B$ — термическое сопротивление канала приточного воздуха, м²·К/Вт;
 D_{hiB} — внутренний гидравлический диаметр канала приточного воздуха, м;
 D_{haB} — наружный гидравлический диаметр канала приточного воздуха, м;
 $\alpha_{aB,j}$ — коэффициент теплообмена наружной поверхности в отрезке j канала приточного воздуха, Вт/(м²·К);
 N_{seg} — количество отрезков дымовой трубы, используемых в вычислениях.

Радиационный тепловой поток q_{Rad} , Вт, следует вычислять по формуле

$$q_{Rad,j} = \frac{U_a L \sigma_{Rad,j}}{\left[\frac{1}{\varepsilon_a} + \frac{D_{ha}}{D_{hiB}} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{iB}} - 1 \right) \right] \cdot N_{seg}} \cdot (T_{ma,j}^4 - T_{miB,j}^4), \quad (117)$$

- где U_a — наружный периметр дымовой трубы, м;
 L — длина дымовой трубы, м;
 $T_{ma,j}$ — средняя температура наружной поверхности в отрезке j дымовой трубы, К;
 $T_{miB,j}$ — средняя температура внутренней поверхности канала приточного воздуха в отрезке j , К;
 σ_{Rad} — коэффициент излучения абсолютно черного тела; $\sigma_{Rad} = 5,67 \cdot 10^{-8}$, Вт/(м²·К⁴);
 ε_a — излучательная способность наружной поверхности дымовой трубы;
 ε_{iB} — излучательная способность внутренней поверхности канала приточного воздуха;
 D_{ha} — гидравлический диаметр внешнего слоя дымовой трубы, м;
 D_{hiB} — гидравлический диаметр внутреннего слоя канала приточного воздуха, м;
 N_{seg} — количество отрезков дымовой трубы, используемых в вычислениях.

Тепловой баланс рассчитывают с использованием следующих формул:

— тепловой баланс между дымовым каналом, приточным воздухом и окружающим воздухом —

$$q_{C,j} = q_{u,j} + q_{B,j}; \quad (118)$$

— тепловой баланс на наружной поверхности дымовой трубы —

$$q_{C,j} = q_{a,j} + q_{Rad,j}; \quad (119)$$

— тепловой баланс на внутренней поверхности приточного канала —

$$q_{u,j} = q_{iB,j} + q_{Rad,j}. \quad (120)$$

На коротких отрезках для средних температур можно воспользоваться следующими формулами:

$$T_{m,j} = \frac{T_{e,j} + T_{o,j}}{2}, \quad (121)$$

$$T_{mB,j} = \frac{T_{eB,j} + T_{oB,j}}{2}. \quad (122)$$

7.8.3.3 Коэффициент охлаждения

Вычисления коэффициента охлаждения см. в 7.8.2.4.

7.8.3.4 Коэффициент теплопередачи

Вычисление коэффициента теплопередачи см. в 7.8.2.5.

7.8.4 Средняя температура для вычисления давления

Среднюю температуру дымовых газов, усредненную по длине дымовой трубы, T_m , К, следует вычислять по формуле

$$T_m = \frac{N_{seg}}{\sum_{j=1}^{N_{seg}} \frac{1}{T_{m,j}}}. \quad (123)$$

Среднюю температуру дымовых газов, усредненную по длине присоединительного дымоотвода, T_{mV} , К, следует вычислять по формуле

$$T_{mV} = T_{mV} = \frac{N_{seg}V}{\sum_{j=1}^{N_{seg}V} \frac{1}{T_{mV,j}}}. \quad (124)$$

Среднюю температуру приточного воздуха, усредненную по длине канала приточного воздуха, T_{mB} , К, следует вычислять по формуле

$$T_{mB} = \frac{N_{seg}}{\sum_{j=1}^{N_{seg}} \frac{1}{T_{mB,j}}}. \quad (125)$$

Среднюю температуру приточного воздуха, усредненную по длине присоединительного приточного воздуховода, T_{mBV} , К, следует вычислять по формуле

$$T_{mBV} = \frac{N_{seg}V}{\sum_{j=1}^{N_{seg}V} \frac{1}{T_{mBV,j}}}, \quad (126)$$

- где T_m — средняя температура дымовых газов, усредненная по длине дымовой трубы, К;
 $T_{m,j}$ — средняя температура дымовых газов, усредненная по длине отрезка j дымовой трубы, К;
 T_{mV} — средняя температура дымовых газов, усредненная по длине присоединительного дымоотвода, К;
 $T_{mV,j}$ — средняя температура дымовых газов, усредненная по длине отрезка j присоединительного дымоотвода, К;
 T_{mB} — средняя температура приточного воздуха, усредненная по длине канала приточного воздуха, К;
 $T_{mB,j}$ — средняя температура приточного воздуха, усредненная по длине отрезка j канала приточного воздуха, К;
 T_{mBV} — средняя температура приточного воздуха, усредненная по длине присоединительного приточного воздуховода, К;
 $T_{mBV,j}$ — средняя температура приточного воздуха, усредненная по длине отрезка j присоединительного приточного воздуховода, К;
 N_{seg} — количество отрезков дымовой трубы;
 N_{segV} — количество отрезков присоединительного дымоотвода.

7.9 Определение плотности и скорости

7.9.1 Плотность и скорость дымовых газов

Плотность ρ_m и скорость w_m дымовых газов, усредненные по длине дымовой трубы, а также присоединительного дымоотвода ρ_{mV} и w_{mV} определяют в соответствии с 5.9.

7.9.2 Плотность и скорость приточного воздуха

Плотность приточного воздуха ρ_{mBV} , усредненную по длине присоединительной трубы, следует вычислять по формуле

$$\rho_{mBV} = \frac{\rho_L}{R_L T_{mB}}, \quad (127)$$

где ρ_{mBV} — плотность приточного воздуха, усредненная по длине присоединительного приточного воздуховода, кг/м³;
 p_L — давление наружного воздуха, Па;
 R_L — газовая постоянная воздуха, Дж/(кг·К);
 T_{mBV} — средняя температура приточного воздуха, усредненная по длине присоединительного приточного воздуховода, К.

Скорость приточного воздуха w_{mBV} , усредненную по длине присоединительного приточного воздуховода, следует вычислять по формуле

$$w_{mBV} = \frac{\dot{m}_B}{A_{BV} \rho_{mBV}}, \quad (128)$$

где w_{mBV} — скорость приточного воздуха, усредненная по длине присоединительного приточного воздуховода, м/с;
 \dot{m}_B — массовый поток приточного воздуха, кг/с;
 A_{BV} — площадь поперечного сечения присоединительного приточного воздуховода, м²;
 ρ_{mBV} — плотность приточного воздуха, усредненная по длине присоединительного приточного воздуховода, кг/м³.

Плотность приточного воздуха ρ_{mB} , усредненную по длине присоединительного приточного воздуховода, следует вычислять по формуле

$$\rho_{mB} = \frac{p_L}{R_L T_{mB}}, \quad (129)$$

где ρ_{mB} — плотность приточного воздуха, усредненная по длине канала приточного воздуха, кг/м³;
 p_L — давление наружного воздуха, Па;
 R_L — газовая постоянная воздуха, Дж/(кг·К);
 T_{mB} — средняя температура приточного воздуха, усредненная по длине канала приточного воздуха, К.

Скорость приточного воздуха w_{mB} , усредненную по длине канала приточного воздуха, следует вычислять по формуле

$$w_{mB} = \frac{\dot{m}_B}{A_B \rho_{mB}}, \quad (130)$$

где w_{mB} — скорость приточного воздуха, усредненная по длине канала приточного воздуха, м/с;
 \dot{m}_B — массовый поток приточного воздуха, кг/с;
 A_B — площадь поперечного сечения канала приточного воздуха, м²;
 ρ_{mB} — плотность приточного воздуха, усредненная по длине канала приточного воздуха, кг/м³.

7.10 Определение давлений

7.10.1 Давление на входе дымовых газов в дымовую трубу

Расчет давления на входе дымовых газов в дымовую трубу производят в соответствии с 5.10.1 и 7.2.

7.10.2 Теоретическая тяга вследствие «эффекта дымовой трубы» в отрезке дымовой трубы P_H

Расчет теоретической тяги вследствие «эффекта дымовой трубы» в отрезке дымовой трубы P_H производят в соответствии с 5.10.2.

7.10.3 Сопротивление отрезка дымовой трубы P_R

Расчет сопротивления отрезка дымовой трубы P_R производят в соответствии с 5.10.3.

7.10.4 Ветровое давление P_L

Предполагается, что входные и выходные отверстия сконструированы таким образом, чтобы свести к минимуму влияние ветра. Следовательно $P_L = 0$.

7.11 Минимально необходимая тяга на входе дымовых газов в дымовую трубу и максимально возможная тяга (P_{Ze} и P_{Zemax}), а также максимальный и минимальный перепады давления на входе дымовых газов в дымовую трубу (P_{ZOe} и P_{ZOemin})

(Измененная редакция, А2:2008)

7.11.1 Общие положения

Общие положения приведены в 5.11.1.

7.11.2 Минимальная и максимальная тяга отопительного устройства (P_W и P_{Wmax}) и максимальный и минимальный перепады давления отопительного устройства (P_{WO} и P_{WOmin})

(Измененная редакция, А2:2008)

Минимальную и максимальную тягу отопительного устройства (P_W и P_{Wmax}) или максимальный и минимальный перепад давления отопительного устройства (P_{WO} и P_{WOmin}) следует вычислять в соответствии с 5.5.4, 5.5.5 или 5.5.6.

(Измененная редакция, А2:2008)

7.11.3 Сопротивление присоединительной трубы P_{FV}

Расчет сопротивления присоединительной трубы P_{FV} производят в соответствии с 5.11.3.

7.11.4 Сопротивление подводу воздуха

7.11.4.1 Тяга вследствие «эффекта дымовой трубы» канала приточного воздуховода P_{HB}

Тягу вследствие «эффекта дымовой трубы» канала приточного воздуха следует вычислять по формуле

$$P_{HB} = H_B g \cdot (\rho_L - \rho_{mB}), \quad (131)$$

где P_{HB} — тяга вследствие «эффекта дымовой трубы» канала приточного воздуха, Па;

H_B — высота присоединительного воздуховода, м;

g — ускорение свободного падения; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

ρ_L — плотность окружающего воздуха, кг/м^3 ;

ρ_{mB} — плотность приточного воздуха, усредненная по длине канала приточного воздуха, кг/м^3 .

Примечание — Опыт показывает, что следует ограничивать минимальную площадь поперечного сечения канала приточного воздуха в коаксиальных дымовоздушных системах. Рекомендуется увеличить площадь поперечного сечения дымового канала в 1,5 раза.

7.11.4.2 Тяга вследствие «эффекта дымовой трубы» присоединительного приточного воздуховода P_{HBV}

Тягу вследствие «эффекта дымовой трубы» присоединительного приточного воздуховода следует вычислять по формуле

$$P_{HBV} = H_{BV} g \cdot (\rho_L - \rho_{mBV}), \quad (132)$$

где P_{HBV} — тяга вследствие «эффекта дымовой трубы» присоединительного приточного воздуховода, Па;

H_{BV} — высота присоединительного приточного воздуховода, м;

g — ускорение свободного падения; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

ρ_L — плотность окружающего воздуха, кг/м^3 ;

ρ_{mBV} — плотность приточного воздуха, усредненная по длине присоединительного приточного воздуховода, кг/м^3 .

7.11.4.3 Сопротивление канала приточного воздуха P_{RB}

Сопротивление канала приточного воздуха P_{RB} следует вычислять по формуле

$$P_{RB} = S_{EB} \cdot \left(\psi_B \cdot \frac{L}{D_{hB}} + \sum \zeta_B \right) \cdot \frac{\rho_{mB}}{2} \cdot w_{mB}^2 + S_{EGB} P_{GB}, \quad (133)$$

где P_{RB} — сопротивление канала приточного воздуха дымовой трубы, Па;

P_{GB} — изменение давления вследствие изменения скорости потока в канале приточного воздуха дымовой трубы, Па;

ψ_B — коэффициент трения в канале приточного воздуха дымовой трубы;

L — длина дымовой трубы, м;

D_{hB} — гидравлический диаметр канала приточного воздуха дымовой трубы, м;

- $\sum \zeta_B$ — сумма коэффициентов сопротивления в канале приточного воздуха дымовой трубы;
 ρ_{mB} — плотность приточного воздуха, усредненная по длине дымовой трубы, кг/м³;
 w_{mB} — скорость приточного воздуха, усредненная по длине канала приточного воздуха, м/с;
 S_{EB} — коэффициент стабильности потока для канала приточного воздуха;
 S_{EGB} — коэффициент стабильности потока для сопротивления вследствие изменения скорости потока в дымовой трубе ($S_{EGB} = S_{EB}$ для $P_{GB} \geq 0$ и $S_{EGB} = 1,0$ для $P_{GB} < 0$).

Коэффициент гидравлического сопротивления вследствие трения в канале приточного воздуха ψ_B для различных шероховатостей следует вычислять по формуле

$$\frac{1}{\sqrt{\psi_B}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re_B \cdot \sqrt{\psi_B}} + \frac{r_B}{3,71 D_{hB}} \right), \quad (134)$$

- где D_{hB} — гидравлический диаметр канала приточного воздуха, м;
 r_B — среднее значение шероховатости внутренней поверхности канала приточного воздуха, м;
 Re_B — число Рейнольдса для канала приточного воздуха (см. 7.8.2.5.3);
 ψ_B — коэффициент гидравлического сопротивления вследствие трения в канале приточного воздуха.

Для чисел Рейнольдса менее 2300 используют коэффициент, соответствующий числу Рейнольдса, равному 2300.

Изготовитель должен предоставить значения средней шероховатости. На случай, когда значения у изготовителя отсутствуют, в таблице В.4 (приложение В) приведены типичные значения средних шероховатостей для различных материалов.

Изменение давления вследствие изменения скорости потока P_{GB} в канале приточного воздуха следует вычислять по формуле

$$P_{GB} = \frac{\rho_{mB}}{2} \cdot w_{mB}^2, \quad (135)$$

- где ρ_{mB} — плотность приточного воздуха, усредненная по длине канала приточного воздуха, кг/м³;
 P_{GB} — изменение давления вследствие изменения скорости потока в канале приточного воздуха, Па;
 w_{mB} — скорость приточного воздуха, усредненная по длине канала приточного воздуха, м/с.

7.11.4.4 Сопротивление присоединительного приточного воздуховода P_{RBV}

Сопротивление присоединительного приточного воздуховода P_{RBV} следует вычислять по формуле

$$P_{RBV} = S_{EB} \cdot \left(\psi_{BV} \cdot \frac{L_{BV}}{D_{hBV}} + \sum \zeta_{BV} \right) \cdot \frac{\rho_{mBV}}{2} \cdot w_{mBV}^2 + S_{EGBV} P_{GBV}, \quad (136)$$

- где P_{GBV} — изменение давления вследствие изменения скорости потока в присоединительном приточном воздуховоде, Па;
 ψ_{BV} — коэффициент трения в присоединительном приточном воздуховоде;
 L_{BV} — длина присоединительного приточного воздуховода, м;
 D_{hBV} — гидравлический диаметр воздушного канала в присоединительном приточном воздуховоде, м;
 $\sum \zeta_{BV}$ — сумма коэффициентов сопротивления в присоединительном приточном воздуховоде;
 ρ_{mBV} — плотность приточного воздуха, усредненная по длине присоединительного приточного воздуховода, кг/м³;
 w_{mBV} — скорость приточного воздуха, усредненная по длине присоединительного приточного воздуховода, м/с;
 S_{EB} — коэффициент стабильности потока для присоединительного приточного воздуховода;
 S_{EGBV} — коэффициент стабильности потока для сопротивления вследствие изменения скорости потока в присоединительном приточном воздуховоде ($S_{EGBV} = S_{EB}$ для $P_{GBV} \geq 0$ и $S_{EGBV} = 1,0$ для $P_{GBV} < 0$).

Коэффициент гидравлического сопротивления вследствие трения в дымовом канале ψ_{BV} для различных шероховатостей следует вычислять по формуле

$$\frac{1}{\sqrt{\psi_{BV}}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re_{BV} \cdot \sqrt{\psi_{BV}}} + \frac{r_{BV}}{3,71 D_{hBV}} \right), \quad (137)$$

где D_{hBV} — гидравлический диаметр присоединительного приточного воздуховода, м;
 r_{BV} — среднее значение шероховатости внутренней поверхности присоединительного приточного воздуховода, м;
 Re_{BV} — число Рейнольдса для присоединительного приточного воздуховода (см. 7.8.2.5.3);
 ψ_{BV} — коэффициент сопротивления вследствие трения в присоединительном приточном воздуховоде.

Для чисел Рейнольдса менее 2300 используют коэффициент, соответствующий числу Рейнольдса, равному 2300.

Изготовитель должен предоставить значения средней шероховатости. На случай, когда значения изготовителя отсутствуют, в таблице В.4 (приложение В) приведены типичные значения средних шероховатостей для разных материалов.

Изменение давления вследствие изменения скорости потока P_{GBV} в канале приточного воздуха присоединительного приточного воздуховода следует вычислять по формуле

$$P_{GBV} = \frac{\rho_{mBV}}{2} \cdot W_{mBV}^2 - \frac{\rho_{mB}}{2} \cdot W_{mB}^2, \quad (138)$$

где P_{GBV} — изменение давления вследствие изменения скорости потока в присоединительном приточном воздуховоде, Па;
 ρ_{mBV} — плотность приточного воздуха, усредненная по длине присоединительного приточного воздуховода, кг/м³;
 ρ_{mB} — плотность приточного воздуха, усредненная по длине канала приточного воздуха, кг/м³;
 W_{mBV} — скорость приточного воздуха, усредненная по длине присоединительного приточного воздуховода, м/с;
 W_{mB} — скорость приточного воздуха, усредненная по длине канала приточного воздуха, м/с.

7.12 Вычисление температуры внутренней поверхности на выходе из дымовой трубы T_{iob}

Температуру внутренней поверхности на выходе из дымовой трубы при температуре равновесия T_{iob} следует вычислять по формуле

$$T_{iob} = T_{o,Nseg} - \frac{k_{i,Nseg}}{\alpha_{i,Nseg}} \cdot (T_{o,Nseg} - T_{uo}), \quad (139)$$

где T_{iob} — температура внутренней поверхности на выходе из дымовой трубы при температуре равновесия, К;
 $T_{o,Nseg}$ — температура дымовых газов в конце последнего отрезка N_{seg} дымовой трубы, К;
 $k_{i,Nseg}$ — коэффициент теплопередачи между дымовым каналом и воздушным каналом последнего отрезка N_{seg} дымовой трубы, Вт/(м²·К);
 $\alpha_{i,Nseg}$ — коэффициент теплообмена между дымовыми газами и внутренней поверхностью дымового канала последнего отрезка N_{seg} дымовой трубы, Вт/(м²·К);
 T_{uo} — температура окружающего воздуха на выходе из дымовой трубы, К.

8 Учет теплоты конденсации водяного пара из дымовых газов

8.1 Общие положения

Предыдущий раздел позволяет рассчитывать заданные параметры для дымовых труб, работающих во влажных условиях, без учета полезной теплоты, выделяемой при конденсации водяного пара из дымовых газов. В настоящем разделе приводится расчет теплоты, выделяемой при конденсации водяного пара (скрытая теплота конденсации), и рассматривается влияние этой теплоты на температуру в дымовой трубе. Эту теплоту рекомендуется использовать, когда требования по температуре в соответствии с 5.3 не могут быть удовлетворены.

В настоящем разделе не рассматривается указанное влияние на требования по давлению.

Примечание — Газовую постоянную R с учетом конденсации можно определить по приложению Е.
(Измененная редакция, А2:2008)

Учесть теплоту конденсации, которая может быть принята во внимание при расчете, очень сложно, т. к. процесс тепло- и массообмена в большинстве случаев будет трехмерным. Например, конденсат может стекать по внутренней поверхности дымовой трубы и испаряться в зоне, где температура значительно выше. Метод расчета, приведенный в настоящем стандарте, учитывает влияние конденсации водяного пара на внутренней поверхности дымовой трубы только в том случае, когда температура внутренней поверхности ниже или равна температуре точки росы дымовых газов, но позволяет на основании практического опыта уменьшать максимальное количество конденсата, применяя коэффициент $f_k < 100$ %.

Для расчета с учетом конденсации дымовую трубу следует разделить на N_{seg} равных отрезков, при этом длина каждого из них должна составлять не более 0,5 м. Если температура внутренней поверхности на выходе из присоединительного дымоотвода ниже точки росы дымовых газов по воде, то присоединительный дымоотвод следует также разделить на $N_{seg}V$ равных отрезков, длина каждого из которых должна составлять не более 0,5 м.

8.2 Возникновение конденсации

Для нахождения отрезка $N_{seg}K$ и (или) $N_{seg}KV$, в котором начинается конденсация, следует вычислять температуру внутренней поверхности $T_{iob,j}$ в конце каждого отрезка j в соответствии с разделом 5 или 7, начиная с первого отрезка присоединительного дымоотвода или дымовой трубы, на которых может возникнуть конденсация, пока не будет выполнено следующее условие:

$$T_{iob,j} - T_{pe,1} < 0 \quad (140)$$

$$T_{iob,j} = T_{ob,j} - \frac{K_{b,j}}{\alpha_{i,j}} \cdot (T_{ob,j} - T_{u,j}), \quad (141)$$

где $T_{iob,j}$ — температура внутренней поверхности на выходе из отрезка j при температуре равновесия, К;

$T_{pe,1}$ — точка росы по воде на входе в первый отрезок, К;

$K_{b,j}$ — коэффициент теплопередачи в отрезке j при температуре равновесия (см. раздел 5 или 7), Вт/(м²·К);

$\alpha_{i,j}$ — коэффициент конвективного теплообмена в отрезке j (см. раздел 5 или 7), Вт/(м²·К);

$T_{ob,j}$ — температура дымовых газов на выходе из отрезка j при температуре равновесия (см. раздел 5 или 7), К;

$T_{u,j}$ — температура окружающего воздуха вокруг отрезка j , К.

Примечание 1 — Необходимо проверить выполнение условия (140), особенно если имеют место изменения в размерах дымового канала или в значении термического сопротивления присоединительного дымоотвода и (или) дымовой трубы, в частности на входе в дымовую трубу.

Точка росы по воде на входе в первый отрезок присоединительного дымоотвода $T_{peV,1}$ зависит от содержания водяного пара в дымовых газах на выходе из отопительного устройства. Для неконденсационных котлов $T_{peV,1} = T_p$. Для конденсационных котлов значение для содержания водяного пара в дымовых газах $\sigma(\text{H}_2\text{O})_w$ следует получить от изготовителя отопительного устройства. Используя это значение по формулам (В.6) и (В.7) (приложение В) определяем парциальное давление водяного пара на выходе из отопительного устройства p_{DW} и точку росы по воде $T_{peV,1}$.

Примечание 2 — Если все значения неизвестны, за точку росы следует взять номинальную температуру поступающей в котел обратной воды T_{bf} , $T_{peV,1} = T_{bf}$. Соответствующее парциальное давление водяного пара p_{DW} можно определить, используя формулу (В.13).

Если массовый поток дымовых газов на выходе из конденсационного котла \dot{m}_w не учитывает появление конденсации в отопительном устройстве, то массовый поток дымовых газов можно определить, используя формулу

$$\dot{m}_w = \dot{m} - \Delta\dot{m}_{DW}, \quad (142)$$

$$\Delta\dot{m}_{DW} = \dot{m} \cdot \frac{R}{R_D} \cdot \left(1 - \frac{p_D}{p_L}\right) \cdot \left(\frac{p_D}{p_L - p_D} - \frac{p_{DW}}{p_L - p_{DW}}\right), \quad (143)$$

где \dot{m}_w — массовый поток дымовых газов на выходе из отопительного устройства с учетом изменения массового потока за счет конденсации в устройстве, кг/с;
 $\Delta\dot{m}_{DW}$ — массовый поток конденсата в отопительном устройстве, кг/с;
 \dot{m} — массовый поток дымовых газов до появления конденсации, кг/с;
 R — газовая постоянная дымовых газов до появления конденсации, Дж/(кг·К);
 R_D — газовая постоянная водяного пара; $R_D = 496$, Дж/(кг·К);
 p_L — давление наружного воздуха, Па;
 p_D — парциальное давление водяного пара до конденсации, Па;
 p_{DW} — парциальное давление водяного пара на выходе из отопительного устройства, Па.

Если $N_{segKV} = 1$, то применяют следующие уравнения:

$$\dot{m}_{ov,0} = \dot{m}_w, \quad (144)$$

$$T_{obV,0} = T_w, \quad (145)$$

$$T_{ioV,0} = T_w - \frac{k_{bV,1}}{\alpha_{iV,1}} \cdot (T_w - T_{uV,1}), \quad (146)$$

где $\dot{m}_{ov,0}$ — массовый поток дымовых газов на входе в первый отрезок, кг/с;
 $T_{obV,0}$ — температура дымовых газов на входе в первый отрезок при температуре равновесия, К;
 $T_{ioV,0}$ — температура внутренней стенки на входе в первый отрезок при температуре равновесия, К;
 T_w — температура дымовых газов на выходе из отопительного устройства при температуре равновесия, К;
 $k_{bV,1}$ — коэффициент теплопередачи первого отрезка при температуре равновесия, Вт/(м²·К);
 $\alpha_{iV,1}$ — коэффициент теплообмена первого отрезка, Вт/(м²·К);
 $T_{uV,1}$ — температура окружающего воздуха на первом отрезке, К.

Точка росы по воде на входе в первый отрезок дымовой трубы $T_{pe,1}$ зависит от содержания водяного пара в дымовых газах на выходе из присоединительного дымоотвода. Если конденсация в присоединительном дымоотводе не происходит, то допускается использовать $T_{pe,1} = T_{pV,1}$. В других случаях допускается использовать формулу

$$\sigma(H_2O)_{V,NsegV} = \frac{\frac{R}{R_D} \cdot \frac{p_D}{p_L} \cdot \frac{\Delta\dot{m}_{DW} + \Delta\dot{m}_{DV}}{\dot{m}}}{\frac{R}{R_D} - \frac{\Delta\dot{m}_{DW} + \Delta\dot{m}_{DV}}{\dot{m}}} \cdot 100, \quad (147)$$

$$\Delta\dot{m}_{DV} = \sum_{j=NsegKV}^{NsegV} \Delta\dot{m}_{D,j}, \quad (148)$$

где $\sigma(H_2O)_{V,NsegV}$ — содержание водяного пара в дымовых газах на выходе из присоединительного дымоотвода, %;
 R — газовая постоянная дымовых газов до конденсации, Дж/(кг·К);
 R_D — газовая постоянная водяного пара; $R_D = 496$, Дж/(кг·К);
 p_L — давление наружного воздуха, Па;
 p_D — парциальное давление водяного пара до конденсации, Па;
 $\Delta\dot{m}_{DW}$ — массовый поток конденсата в отопительном устройстве, кг/с;
 $\Delta\dot{m}_{DV}$ — массовый поток конденсата в присоединительном дымоотводе, кг/с;
 \dot{m} — массовый поток дымовых газов до конденсации, кг/с;
 N_{segV} — количество отрезков присоединительного дымоотвода;
 N_{segKV} — номер отрезка присоединительного дымоотвода, где начинается конденсация.

Используя значение содержания водяного пара в дымовых газах на выходе из присоединительного дымоотвода $\sigma(H_2O)_{V,NsegV}$, по формулам (В.6) и (В.7) (приложение В) можно определить соответствующее парциальное давление водяного пара $p_{DV,NsegV}$ и точку росы по воде $T_{pe,1}$.

Если $N_{seg}K = 1$, то используют следующие уравнения:

$$\dot{m}_{o,0} = \dot{m}_W - \Delta\dot{m}_{DV}, \quad (149)$$

$$T_{ob,0} = T_{eb}, \quad (150)$$

$$T_{iob,0c} = T_{eb} - \frac{k_{b,1}}{\alpha_{i,1}} \cdot (T_{eb} - T_{u,1}), \quad (151)$$

где $\dot{m}_{o,0}$ — массовый поток дымовых газов на входе в первый отрезок, кг/с;
 $\Delta\dot{m}_{DV}$ — массовый поток конденсата в присоединительном дымоотводе, кг/с;
 $T_{ob,0}$ — температура дымовых газов на входе в первый отрезок при температуре равновесия, К;
 $T_{iob,0}$ — температура внутренней поверхности на входе в первый отрезок при температуре равновесия, К;
 T_{eb} — температура дымовых газов на входе в дымовую трубу при температуре равновесия, К;
 $k_{b,1}$ — коэффициент теплопередачи первого отрезка при температуре равновесия, Вт/(м²·К);
 $\alpha_{i,1}$ — коэффициент теплообмена первого отрезка, Вт/(м²·К);
 $T_{u,1}$ — температура окружающего воздуха на первом отрезке, К.

8.3 Расчет температуры дымовых газов на выходе из отрезка дымовой трубы ($j \geq N_{seg}K$) с учетом конденсации

Приведенные ниже формулы позволяют вычислить путем итераций температуру дымовых газов на выходе из отрезка j дымовой трубы $T_{ob,j}$.

Примечание 1 — Рекомендуется начинать итерацию со значения $T_{ob,j}$, вычисленного без учета конденсации.

Примечание 2 — Формулы для отрезков дымовой трубы также применимы к присоединительному дымоотводу при использовании соответствующих значений.

Температуру внутренней поверхности $T_{iob,j}$ на выходе из отрезка j при температуре равновесия вычисляют по формуле

$$T_{iob,j} = T_{ob,j} - \frac{k_{obtot,j}}{\alpha_{iotot,j}} \cdot (T_{ob,j} - T_{u,j}), \quad (152)$$

где $T_{ob,j}$ — температура дымовых газов на выходе из отрезка j при температуре равновесия, К;
 $T_{ob,j}$ — температура дымовых газов на выходе из отрезка j при температуре равновесия, К;
 $T_{u,j}$ — окружающая температура для отрезка j , К;
 $k_{obtot,j}$ — суммарный коэффициент теплопередачи на выходе из отрезка j при температуре равновесия, Вт/(м²·К);
 $\alpha_{iotot,j}$ — суммарный коэффициент теплообмена путем конвекции и конденсации на выходе из отрезка j , Вт/(м²·К).

Для суммарного коэффициента теплообмена путем конвекции и конденсации $\alpha_{iotot,j}$ и суммарного коэффициента теплопередачи $k_{obtot,j}$ применяют следующие формулы:

$$\alpha_{iotot,j} = \alpha_{io,j} + \alpha_{ioK,j}, \quad (153)$$

$$k_{obtot,j} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{iotot,j}} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{D_h}{D_{ha}\alpha_a}}, \quad (154)$$

где $\alpha_{iotot,j}$ — суммарный коэффициент теплообмена за счет конвекции и конденсации на выходе из отрезка j , Вт/(м²·К);

$\alpha_{io,j}$ — коэффициент конвективного теплообмена отрезка j (см. раздел 5 или 7, расчет $T_{ob,j}$), Вт/(м²·К);

$\alpha_{ioK,j}$ — коэффициент теплообмена за счет конденсации на выходе из отрезка j , Вт/(м²·К);

$k_{obtot,j}$ — суммарный коэффициент теплопередачи на выходе из отрезка j при температуре равновесия, Вт/(м²·К);

$\frac{1}{\Lambda}$ — термическое сопротивление, м²·К/Вт;

- D_h — внутренний гидравлический диаметр, м;
 D_{ha} — наружный гидравлический диаметр, м;
 α_a — коэффициент теплообмена снаружи, Вт/(м²·К).

Для коэффициента теплообмена путем конденсации $\alpha_{iK,j}$ применяют следующую формулу:

$$\alpha_{iK,j} = \frac{q_{K,j} N_{seg}}{l_{c,j} UL \cdot (T_{ob,j} - T_{iob,j})}, \quad (155)$$

$l_{c,j} = 1$ — для $j > N_{seg}K$ или

$$N_{seg}K = 1 \text{ и } T_{iob,0} \leq T_{pe,1} \quad (156)$$

и

$$l_{c,j} = \frac{T_{pe,1} - T_{iob,j}}{T_{iob,j-1} - T_{iob,j}} \text{ — для } j = N_{seg}K \text{ и } N_{seg}K > 1 \text{ или}$$

$$N_{seg}K = 1 \text{ и } T_{iob,0} > T_{pe,1}, \quad (157)$$

- где $\alpha_{iK,j}$ — теплообмен путем конденсации между дымовыми газами и внутренней поверхностью отрезка j , Вт/(м²·К);
 $q_{K,j}$ — теплота конденсации отрезка j , Вт;
 N_{seg} — количество отрезков;
 $l_{c,j}$ — доля поверхности конденсации отрезка j ;
 U — внутренний периметр, м;
 L — длина дымовой трубы, м;
 $T_{pe,1}$ — точка росы по воде на входе в первый отрезок, К;
 $T_{iob,NsegK}$ — температура внутренней поверхности на выходе из отрезка $N_{seg}K$ при температуре равновесия, К.

Для теплоты конденсации отрезка j $q_{K,j}$ применяют следующую формулу:

$$q_{K,j} = \Delta \dot{m}_{D,j} r_D, \quad (158)$$

- где $q_{K,j}$ — теплота конденсации для отрезка j , Вт;
 $\Delta \dot{m}_{D,j}$ — массовый поток конденсата в отрезке j , кг/с;
 r_D — скрытая теплота парообразования для воды, Дж/кг; принимают $r_D = 2\,400\,000$.

Для массового потока конденсата применяют следующую формулу:

$$\Delta \dot{m}_{D,j} = \dot{m} \cdot \frac{R}{R_D} \cdot \left(1 - \frac{p_D}{p_L}\right) \cdot \left(\frac{p_{Do,j-1}}{p_L - p_{Do,j-1}} - \frac{p_{Do,j}}{p_L - p_{Do,j}}\right) \cdot \frac{f_K}{100}, \quad (159)$$

$$p_{Do,j} = e^{\left(23,6448 - \frac{4077,9}{T_{iob,j} - 36,48}\right)}, \quad (160)$$

- где $\Delta \dot{m}_{D,j}$ — массовый поток конденсата в отрезке j , кг/с;
 \dot{m} — массовый поток дымовых газов до конденсации, кг/с;
 R — газовая постоянная дымовых газов до конденсации, Дж/(кг·К);
 R_D — газовая постоянная водяного пара, Дж/(кг·К); $R_D = 496$;
 p_D — парциальное давление водяного пара до конденсации, Па;
 $p_{Do,j}$ — парциальное давление водяного пара в зависимости от температуры внутренней поверхности на выходе из отрезка j при температуре равновесия, Па;
 p_L — давление наружного воздуха, Па;
 f_K — полезная часть конденсации;
 $T_{iob,j}$ — температура внутренней поверхности на выходе из отрезка j при температуре равновесия, К.

Для f_K — см. формулы (161) и (162), а также рисунок 2. Для f_K следует использовать температуру дымовых газов T_e на входе в дымовую трубу. Если в присоединительном дымоотводе уже имеет место конденсация, то для этой части f_{KV} следует использовать температуру дымовых газов отопительного устройства T_w .

$$f_{KV} = 132,7 - 2,6t_w + 0,0133t_w^2, \quad (161)$$

$$f_K = 132,7 - 2,6t_e + 0,0133t_e^2, \quad (162)$$

где t_w — температура дымовых газов отопительного устройства, °C;

t_e — температура дымовых газов на входе в дымовую трубу, °C.

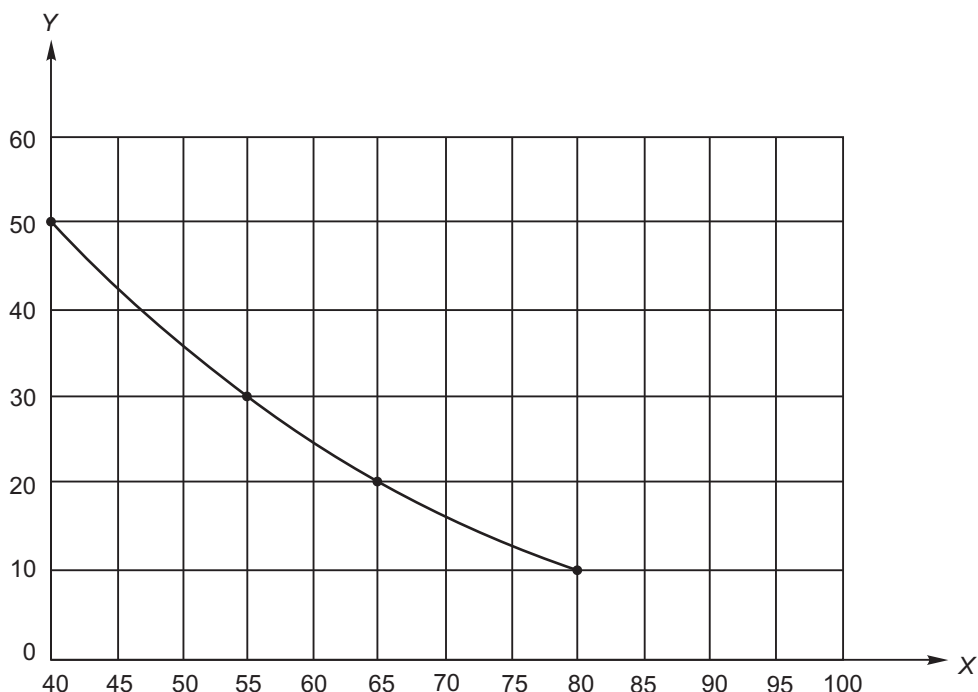
Эту формулу можно использовать для $40\text{ °C} \leq t_w \leq 80\text{ °C}$ и $40\text{ °C} \leq t_e \leq 80\text{ °C}$. Для $t_w < 40\text{ °C}$ — $f_{KV} = 50\%$ и для $t_e < 40\text{ °C}$ — $f_K = 50\%$.

Для массового потока дымовых газов $\dot{m}_{o,j}$ на выходе из отрезка j применяют следующую формулу:

$$\dot{m}_{o,j} = \dot{m}_{o,j-1} - \Delta\dot{m}_{D,j}, \quad (163)$$

где $\dot{m}_{o,j-1}$ — массовый поток дымовых газов на выходе из отрезка j , кг/с;

$\Delta\dot{m}_{D,j}$ — массовый поток конденсата отрезка j , кг/с.



X — t_e или t_w , °C;

Y — f_K или f_{KV} , %

Рисунок 2 — Коэффициент конденсации f_K в зависимости от температуры дымовых газов на входе t_e или t_w

Для пересчитанной температуры дымовых газов $T_{ob,j}$ на выходе из отрезка j применяют формулу

$$T_{ob,j} = \frac{\left(\frac{\dot{m}_{o,j-1} c_{po,j-1} - \frac{K_{b,j}}{2}}{\dot{m}_{o,j} c_{po,j}} \right) \cdot T_{ob,j-1} + \frac{q_{K,j}}{\dot{m}_{o,j} c_{po,j}} + K_{b,j} T_{u,j}}{1 + \frac{K_{b,j}}{2}}, \quad (164)$$

$$K_{b,j} = \frac{Uk_{btot,j}L}{\dot{m}_{o,j} c_{po,j} N_{seg}}, \quad (165)$$

$$k_{btot,j} = (1 - l_{c,j}) \cdot k_{b,j-1} + l_{c,j} k_{btot,j} \text{ для } j = N_{seg}K, \quad (166)$$

$$k_{btot,j} = \frac{k_{btot,j-1} + k_{btot,j}}{2} \text{ для } j > N_{seg}K, \quad (167)$$

где T_{obj} — пересчитанная температура дымовых газов на выходе из отрезка j , К;
 $\dot{m}_{o,j}$ — массовый поток дымовых газов на выходе из отрезка j , кг/с;
 $c_{po,j}$ — удельная теплоемкость дымовых газов на выходе из отрезка j , Дж/(кг·К);
 $K_{b,j}$ — коэффициент охлаждения отрезка j при температуре равновесия;
 T_{obj-1} — температура дымовых газов на выходе из отрезка $j - 1$ при температуре равновесия, К;
 $q_{K,j}$ — теплота конденсации для отрезка j , Вт;
 $T_{u,j}$ — окружающая отрезок j температура, К;
 U — внутренний периметр, м;
 $k_{btot,j}$ — коэффициент теплопередачи отрезка j при температуре равновесия, Вт/(м²·К);
 L — длина, м;
 N_{seg} — количество отрезков;
 $l_{c,j}$ — доля поверхности конденсации для отрезка j ;
 $k_{b,j-1}$ — коэффициент теплопередачи отрезка $j - 1$ при температуре равновесия, Вт/(м²·К);
 $k_{btot,j}$ — суммарный коэффициент теплопередачи на выходе из отрезка j при температуре равновесия, Вт/(м²·К).

Для увеличения точности итерации применяют следующее выражение:

$$|q_{A,j} - q_{C,j}| \leq \varepsilon_f q_{A,j} \quad (168)$$

$$q_{A,j} = \dot{m}_{o,j-1} c_{po,j-1} T_{obj-1} - \dot{m}_{o,j} c_{po,j} T_{obj} + q_{K,j}, \quad (169)$$

$$q_{C,j} = \frac{\alpha_{itot,j} UL}{N_{seg}} \cdot \frac{T_{obj-1} - T_{iob,j-1} + T_{obj} - T_{iob,j}}{2}, \quad (170)$$

где $q_{A,j}$ — разность энтальпий дымовых газов между входом в отрезок j и выходом из него, Дж;
 $q_{C,j}$ — суммарный тепловой поток от дымовых газов к внутренней поверхности отрезка j , Вт;
 ε_f — максимальная сходимост; $\varepsilon_f = 0,02$;
 $\dot{m}_{o,j}$ — массовый поток дымовых газов на выходе из отрезка j , кг/с;
 $c_{po,j}$ — удельная теплоемкость дымовых газов на выходе из отрезка j , Дж/(кг·К);
 T_{obj} — температура дымовых газов на выходе из отрезка j при температуре равновесия, К;
 $q_{K,j}$ — теплота конденсации для отрезка j , Вт;
 $\alpha_{itot,j}$ — суммарный коэффициент теплообмена вследствие конвекции и конденсации на выходе из отрезка j , Вт/(м²·К);
 U — внутренний периметр, м;
 L — длина дымовой трубы, м;
 N_{seg} — количество отрезков;
 $T_{iob,j}$ — температура внутренней поверхности на выходе из отрезка j при температуре равновесия, К.

Для сбалансированных дымовых труб с коаксиальными каналами могут быть использованы формулы (140) – (170) со следующими изменениями:

— вместо $T_{u,j}$ используют $T_{mbV,j}$;

— вместо $T_{uV,j}$ используют $T_{mbBV,j}$;

— вместо α_a используют $\alpha_{a,j}$.

$T_{mb,j}$, $T_{mbV,j}$ и $\alpha_{a,j}$ определяют по соответствующим формулам раздела 7.

(Измененная редакция, А1:2002)

Приложение А (справочное)

Вычисление термического сопротивления

Термическое сопротивление дымовой трубы $\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_n$ можно определить, зная коэффициенты теплопроводности материалов, из которых изготовлена дымовая труба; его следует вычислять по формуле

$$\frac{1}{\Lambda} = y \sum_n \left[\frac{D_h}{2\lambda_n} \cdot n \cdot \left(\frac{D_{h,n+1}}{D_{h,n}} \right) \right], \quad (\text{A.1})$$

- где D_h — внутренний гидравлический диаметр, м;
 $D_{h,n}$ — внутренний гидравлический диаметр каждого слоя, м;
 y — коэффициент формы, равный:
 1,0 — для поперечных сечений круглой и овальной формы;
 1,10 — для поперечных сечений квадратной и прямоугольной формы при соотношении сторон 1:1,5;
 λ_n — коэффициент теплопроводности материала слоя при рабочей температуре, Вт/(м·К) (см. таблицу В.5 (приложение В)).

Влияние мостиков холода для металлической дымотрубной системы следует учитывать с помощью использования коэффициента в соответствии с EN 1859.

Приложение В
(справочное)

Таблицы

Таблица В.1 — Данные для определения массового потока дымовых газов \dot{m} , удельной газовой постоянной R , удельной теплоемкости c_p , точки росы для воды t_p , повышения точки росы ΔT_{sp} , коэффициента теплопроводности λ_A и динамической вязкости η_A дымовых газов (c_p , λ_A и η_A до 400 °С)

Тип топлива	Характеристика топлива					Коэффициенты для расчета данных по дымовым газам													
	H_u , кВт·ч/кг или кВт·ч/м ³	V_{Amin} , м ³ /кг или м ³ /м ³	V_{Lmin} , м ³ /кг или м ³ /м ³	V_{H_2O} , м ³ /кг или м ³ /м ³	$\sigma(CO_2)_{max}$, %	$\sigma(SO_2)$, %	f_{m1} , г%/ (кВт·с)	f_{m2} , г/ (кВт·с)	f_R без конд., 1/%	f_R с конд., 1/%	f_{R1} , 1/%	f_{R2} , 1/%	f_{c0} , Дж/(кг·К %)	f_{c1} , Дж/(кг·К ² %)	f_{c2} , Дж/(кг·К ³ %)	f_{c3} , 1/%	f_w , %	f_{s1} , К	f_{s2} , К
Кокс	8,06	7,64	7,66	0,13	20,60	0,09	7,06	0,033	-0,0036	-0,0038	0,0036	-0,0040	3,4	0,014	-0,000014	0,0046	1,235	99	7
Каменный уголь (антрацит)	9,24	8,37	8,55	0,44	19,05	0,10	6,23	0,036	-0,0028	-0,0033	0,0036	-0,0039	5,6	0,014	-0,000013	0,0057	370	93	7
Бурый уголь	5,42	5,09	5,17	0,68	19,48	0,04	6,61	0,055	-0,0014	-0,0026	0,0037	-0,0040	10,3	0,015	-0,000012	0,0083	149	80	7
RFO ¹⁾ < 4 % S	9,43	9,91	10,48	1,15	16,17	0,28	6,14	0,052	-0,0012	-0,0024	0,0037	-0,0039	10,7	0,014	-0,000012	0,0082	142	94	7
RFO < 2 % S	9,61	10,06	10,67	1,21	16,15	0,14	6,11	0,052	-0,001	-0,0023	0,0037	-0,0038	11,0	0,014	-0,000011	0,0083	137	89	7

¹⁾ RFO — residual fuel oil — остаточное нефтяное топливо (прим. переводчика).

Продолжение таблицы В.1

Тип топлива	Характеристика топлива					Коэффициенты для расчета данных по дымовым газам													
	H_u , кВт·ч/кг или кВт·ч/м ³	V_{Amin} , м ³ /кг или м ³ /м ³	V_{Lmin} , м ³ /кг или м ³ /м ³	V_{H_2O} , м ³ /кг или м ³ /м ³	$\sigma(CO_2)_{max}$, %	$\sigma(SO_2)$, %	f_{m1} , г%/ (кВт·с)	f_{m2} , г/ (кВт·с)	f_R без конд., 1/%	f_R с конд., 1/%	f_{R1} , 1/%	f_{R2} , 1/%	f_{c0} , Дж/ (кг·К %)	f_{c1} , Дж/ (кг·К ² %)	f_{c2} , Дж/ (кг·К ³ %)	f_{c3} , 1/%	f_w , %	f_{s1} , К	f_{s2} , К
RFO < 1 % S	9,74	10,17	10,79	1,25	16,09	0,07	6,07	0,052	-0,0009	-0,0022	0,0037	-0,0038	11,2	0,014	-0,000011	0,0084	134	85	7
Топливо бытового назначения	11,86	10,52	11,26	1,49	15,40	0,00	4,94	0,046	-0,0002	-0,0018	0,0038	-0,0037	13,0	0,014	-0,000011	0,0093	111	0	0
Керосин	12,09	11,36	12,14	1,57	15,00	0,00	5,09	0,047	-0,0002	-0,0018	0,0038	-0,0036	13,0	0,014	-0,000011	0,0093	111	0	0
Природный газ Н	10,03	8,67	9,57	1,86	12,00	0,00	3,75	0,053	0,0032	0,0002	0,0039	-0,0032	23,0	0,015	-0,000007	0,0142	57	0	0
Природный газ L	9,03	7,87	8,63	1,70	11,80	0,00	3,72	0,054	0,0033	0,0003	0,0039	-0,0032	23,5	0,015	-0,000007	0,0144	56	0	0
Сжиженный газ	26,67	22,46	24,51	4,10	13,80	0,00	4,20	0,049	0,0013	-0,0009	0,0038	-0,0035	17,6	0,015	-0,000009	0,0116	77	0	0
Древесина (влажность 23,1 %)	3,70	3,44	3,45	0,80	20,50	0,00	6,89	0,076	0,0001	-0,0018	0,0038	-0,0041	15,4	0,016	-0,000011	0,0111	90	15	0

Продолжение таблицы В.1

Тип топлива	Характеристика топлива					Коэффициенты для расчета данных по дымовым газам														
	H_u , кВт·ч/кг или кВт·ч/м ³	V_{Atrmin} , м ³ /кг или м ³ /м ³	V_{Lmin} , м ³ /кг или м ³ /м ³	V_{H_2O} , м ³ /кг или м ³ /м ³	$\sigma(CO_2)_{max}$, %	$\sigma(SO_2)$, %	f_{m1} , г%/ (кВт·с)	f_{m2} , г/ (кВт·с)	f_R без конд., 1/%	f_R с конд., 1/%	f_{R1} , 1/%	f_{R2} , 1/%	f_{c0} , Дж/(кг·К %)	f_{c1} , Дж/(кг·К ² %)	f_{c2} , Дж/(кг·К ³ %)	f_{c3} , 1/%	f_w , %	f_{s1} , К	f_{s2} , К	
Древесина (влажность 33,3 %)	3,12	2,98	2,99	0,86	20,50	0,00	7,08	0,090	0,001	-0,0013	0,0038	-0,0042	18,5	0,016	-0,000010	0,0128	72	15	0	
Древесные гранулы	5,27	4,78	4,81	0,78	20,31	0,00	6,66	0,060	-0,001	-0,0024	0,0037	-0,0041	11,6	0,015	-0,000012	0,0091	127	15	0	
<p>f_{m1} — коэффициент для расчета массового потока дымовых газов, г%/(кВт·с);</p> <p>f_{m2} — коэффициент для расчета массового потока дымовых газов, г/(кВт·с);</p> <p>f_R — коэффициент для расчета газовой постоянной дымовых газов, 1/%;</p> <p>f_{c0} — коэффициент для расчета удельной теплоемкости дымовых газов, Дж/(кг·К%);</p> <p>f_{c1} — коэффициент для расчета удельной теплоемкости дымовых газов, Дж/(кг·К²%);</p> <p>f_{c2} — коэффициент для расчета удельной теплоемкости дымовых газов, Дж/(кг·К³%);</p> <p>f_{c3} — коэффициент для расчета удельной теплоемкости дымовых газов, 1/%;</p> <p>f_{R1} — коэффициент для расчета газовой постоянной дымовых газов, если известно содержание водяного пара в дымовых газах, 1/%;</p> <p>f_{R2} — коэффициент для расчета газовой постоянной дымовых газов, если известно содержание водяного пара в дымовых газах, 1/%;</p> <p>(Измененная редакция, А2:2008)</p> <p>f_w — коэффициент для расчета содержания водяного пара в дымовых газах, %;</p> <p>f_{s1} — коэффициент для расчета повышения точки росы, К;</p> <p>f_{s2} — коэффициент для расчета повышения точки росы, К;</p> <p>H_u — теплотворная способность топлива, кВт·ч/кг или кВт·ч/м³;</p> <p>V_{Atrmin} — соотношение минимального объема сухих дымовых газов и массы или объема топлива при нормальных условиях (273,15 К, 101 325 Па), м³/кг и м³/м³;</p> <p>V_{Lmin} — соотношение минимального объема воздуха, подаваемого на горение, и массы или объема топлива при нормальных условиях (273,15 К, 101 325 Па), м³/кг и м³/м³;</p> <p>V_{H_2O} — соотношение объема водяного пара в дымовых газах и массы или объема топлива при нормальных условиях (273,15 К, 101 325 Па), м³/кг и м³/м³;</p> <p>$\sigma(CO_2)_{max}$ — максимальное содержание углекислого газа в сухих дымовых газах, %;</p> <p>$\sigma(SO_2)_{max}$ — максимальное содержание сернистого газа в сухих дымовых газах, %.</p>																				

Окончание таблицы В.1

Приближенные формулы:

$$\dot{m} = \left(\frac{f_{m1}}{\sigma(\text{CO}_2)} + f_{m2} \right) \cdot Q_F, \quad (\text{B.1})$$

$$Q_F = \frac{100}{\eta_W} \cdot Q, \quad (\text{B.2})$$

$$R = R_L \cdot [1 + f_R \cdot \sigma(\text{CO}_2)], \quad (\text{B.3})$$

$$c_p = \frac{1011 + 0,05t_m + 0,0003t_m^2 + (f_{c0} + f_{c1}t_m + f_{c2}t_m^2) \cdot \sigma(\text{CO}_2)}{1 + f_{c3}\sigma(\text{CO}_2)}, \quad (\text{B.4})$$

$$\sigma(\text{H}_2\text{O}) = \frac{100}{1 + \frac{f_w}{\sigma(\text{CO}_2)}} + 1,1, \quad (\text{B.5})$$

$$p_D = \frac{\sigma(\text{H}_2\text{O})}{100} \cdot p_L, \quad (\text{B.6})$$

$$t_p = \frac{4077,9}{23,6448 - \ln(p_D)} - 236,67, \quad (\text{B.7})$$

$$\Delta T_{sp} = f_{s1} + f_{s2} \cdot \ln(K_f), \quad (\text{B.8})$$

$$\lambda_A = 0,0223 + 0,000065t_m, \quad (\text{B.9})$$

$$\eta_A = 15 \cdot 10^{-6} + 47 \cdot 10^{-9}t_m - 20 \cdot 10^{-12}t_m^2, \quad (\text{B.10})$$

$$R = R_L \cdot \left\{ 0,996 + f_{R1} \cdot \sigma(\text{H}_2\text{O}) + f_{R2} \cdot \left[1 - \frac{\sigma(\text{H}_2\text{O})}{100} \right] \cdot \sigma(\text{CO}_2) \right\}, \quad (\text{B.11})$$

$$\sigma(\text{H}_2\text{O}) = \frac{p_D}{p_L} \cdot 100, \quad (\text{B.12})$$

$$p_D = e \cdot \left(23,6448 - \frac{4077,9}{T_p - 36,48} \right) \quad (\text{B.13})$$

где \dot{m} — массовый поток дымовых газов, г/с;
 $\sigma(\text{CO}_2)$ — содержание углекислого газа в сухих дымовых газах, %;
 Q_F — подводимая теплота отопительного устройства, кВт;
 Q — тепловая мощность отопительного устройства, кВт;
 η_W — эффективность отопительного устройства, %;
 R — газовая постоянная дымовых газов, Дж/(кг·к);
 R_L — газовая постоянная воздуха; $R_L = 288$, Дж/(кг·к);
 c_p — удельная теплоемкость дымовых газов, Дж/(кг·к);
 t_m — средняя температура дымовых газов, °С;
 $\sigma(\text{H}_2\text{O})$ — содержание водяного пара в дымовых газах, %;
 p_D — парциальное давление водяного пара, Па;
 p_L — давление наружного воздуха, Па;
 t_p — температура точки росы, °С;
 ΔT_{sp} — повышение точки росы, К;
 K_f — коэффициент пересчета SO_2 в SO_3 , %;
 λ_A — коэффициент теплопроводности дымовых газов, В/(м·К);
 η_A — динамическая вязкость дымовых газов, Н·с/м².

Примечание — « f_R без конденсации» следует использовать для дымовых труб, эксплуатируемых в сухих условиях. « f_R с конденсацией» следует использовать для дымовых труб, эксплуатируемых во влажных условиях.

Таблица В.2 — Данные для отопительных котлов

Топливо	Формула для P_w , η_w и $\sigma \cdot (\text{CO}_2)$		
Кокс, каменный уголь, бурый уголь в брикетах	$P_w = \begin{cases} 15 \lg Q_N \\ -70 + 50 \lg Q_N \\ 80 \text{ Па} \end{cases}$	Па для Па для 100 кВт < для	$Q_N \leq 100$ кВт $Q_N \leq 1000$ кВт $Q_N > 1000$ кВт
	$\eta_w = 68,65 + 4,35 \lg Q_N$	% для	$Q_N \leq 2000$ кВт
	$\sigma(\text{CO}_2) = \begin{cases} 9,5 \% \\ 4,1 + 2,7 \lg Q_N \end{cases}$	для % для 100 кВт <	$Q_N \leq 100$ кВт $Q_N \leq 2000$ кВт
Древесина (влажность 23,1 %)	$P_w = \begin{cases} 15 \lg Q_N \\ 27 + 13 \lg Q_N \end{cases}$	Па для Па для 10 кВт <	$Q_N \leq 50$ кВт $Q_N \leq 350$ кВт специальные котлы
	$\eta_w = 51,6 + 8,4 \lg Q_N$	% для	$Q_N \leq 1000$ кВт
	$\sigma(\text{CO}_2) = \begin{cases} 8,0 \% \\ 6,0 + 2,0 \lg Q_N \end{cases}$	для % для 10 кВт <	$Q_N \leq 10$ кВт $Q_N \leq 1000$ кВт
Нефть и газ (открытая камера сгорания и закрытая камера сгорания)	$P_w = \begin{cases} 15 \lg Q_N \\ 47 + 38,5 \lg Q_N \end{cases}$	Па для Па для	$Q_N \leq 100$ кВт $Q_N > 100$ кВт
	$\eta_w = \begin{cases} 85,0 + 1,0 \lg Q_N \\ 88,0 \% \end{cases}$	% для для	$Q_N \leq 1000$ кВт $Q_N > 1000$ кВт
	$\sigma(\text{CO}_2) = \begin{cases} \frac{f_{x1}}{1 - f_{x2} \lg Q_N} \\ f_{x3} \end{cases}$	% для % для	$Q_N \leq 100$ кВт $Q_N > 100$ кВт

Таблица В.3 — Данные для определения $\sigma(\text{CO}_2)$ в соответствии с таблицей В.2 при использовании мазутных и газовых горелок (Измененная редакция, А2:2008)

Топливо	Горелка с принудительной тягой			Горелка с естественной тягой ^{а)}		
	f_{x1}	f_{x2}	f_{x3}	f_{x1}	f_{x2}	f_{x3}
Нефть	11,2	0,076	13,2	—	—	—
Природный газ Н	8,6	0,078	10,2	5,1	0,075	6,0
Сжиженный газ	10,0	0,080	11,9	5,9	0,079	7,0

^{а)} Значения после тягопрерывателя.

Таблица В.4 — Типичные значения средней шероховатости r для некоторых конструктивных облицовочных материалов

Облицовочный материал	Типичные значения средней шероховатости r , м
Сварная сталь	0,0010
Стекло	0,0010
Пластмасса	0,0010
Алюминий	0,0010

Окончание таблицы В.4

Облицовочный материал	Типичные значения средней шероховатости r , м
Дымовой канал из глиняных керамических блоков	0,0015
Кирпич	0,0050
Паянный металл	0,0020
Бетон	0,0030
Каменная кладка	0,0050
Гофрированный металл	0,0050

Таблица В.5 — Коэффициент теплопроводности λ , плотности ρ и удельной теплоемкости некоторых материалов, используемых в дымовых трубах

Материал	ρ , кг/м ³	c , кДж/(кг·К)	t , °С	λ , Вт/(м·К)
Алюминий	2800	0,88	—	160
Сталь	7800	0,45	10	50
Нержавеющая сталь	7900	0,46	10	17
Каменная кладка				
Водонепроницаемый кирпич и клинкер (см. EN 1745:2002, таблица А.1)	1800	1,00	10	0,55
	2000	—	—	0,64
	2200	—	—	0,74
Полнотельный кирпич, пустотельный кирпич (см. EN 1745:2002, таблица А.1)	1200	—	10	0,33
	1400	—	—	0,40
	1600	—	—	0,47
	1800	—	—	0,55
Силикатные блоки (см. EN 1745:2002, таблица А.2)	1000	—	10	0,30
	1200	—	—	0,36
	1400	—	—	0,46
	1600	—	—	0,61
	1800	—	—	0,81
Легкие полнотельные бетонные блоки на основе других легких заполнителей (см. EN 1745:2002, таблица А.9)	800	—	10	0,33
	1000	—	—	0,41
	1200	—	—	0,52
	1400	—	—	0,66
	1600	—	—	0,83
	1800	—	—	1,08
Легкие полнотельные бетонные блоки на основе керамзита (см. EN 1745:2002, таблица А.9)	800	—	10	0,25
	1000	—	—	0,32
	1200	—	—	0,41
	1400	—	—	0,51
	1600	—	—	0,63
Тяжелый бетон	2400	1,00	10	1,72
Штукатурка, известковый раствор, известково-цементный раствор	1800	1,00	10	0,93
Глиняный керамический вкладыш/блок для газохода	2000	1,00	20	1,000
		0,92	200	1,100

Окончание таблицы В.5

Материал	ρ , кг/м ³	c , кДж/(кг·К)	t , °С	λ , Вт/(м·К)
Минеральная вата	100	0,75	20	0,035
			100	0,045
			200	0,065
Стекло	2200	0,80	20	1,070
			100	1,200
			200	1,370
PVDF (поливинилиденфторид)	1800	0,96	От 20 до 150	0,190
PP (полипропилен)	900	1,70	—	0,220

Таблица В.6 — Термическое сопротивление закрытых воздушных прослоек в зависимости от ширины d_n воздушной прослойки и температуры теплоотдающей поверхности (концентрический кольцевой зазор, расположенный вертикально). Термическое сопротивление герметичных воздушных прослоек в зависимости от ширины прослойки d и температуры теплоотдающей поверхности (концентрический кольцевой зазор, расположенный вертикально)

Ширина воздушной прослойки d_n , м	Термическое сопротивление воздушной прослойки $(1/\Lambda)_n$, м ² ·К/Вт				
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
40 °С	0,123	0,147	0,153	0,152	0,150
100 °С	0,087	0,101	0,101	0,100	0,099
150 °С	0,065	0,075	0,075	0,074	0,074
200 °С	0,050	0,055	0,055	0,055	0,054

Примечание — Эффективный коэффициент теплопроводности λ_n закрытых воздушных прослоек следует вычислять по формуле

$$\lambda_n = y \cdot \frac{D_{h,n}}{2 \cdot \left(\frac{1}{\Lambda}\right)_n} \cdot \ln \left(\frac{D_{h,n} + 2d_n}{D_{h,n}} \right),$$

где y — коэффициент формы (см. приложение А);
 $D_{h,n}$ — наружный гидравлический диаметр внутреннего слоя, ограничивающего воздушную прослойку, м;
 $\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_n$ — термическое сопротивление воздушной прослойки, м²·К/Вт;
 d_n — ширина воздушной прослойки, м.

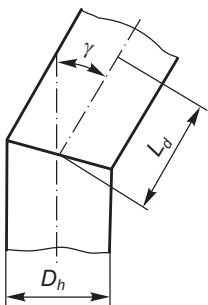
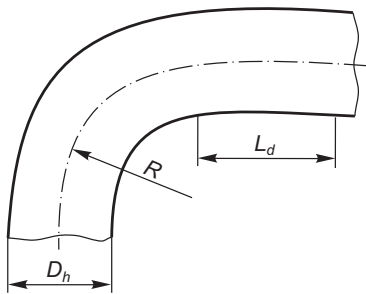
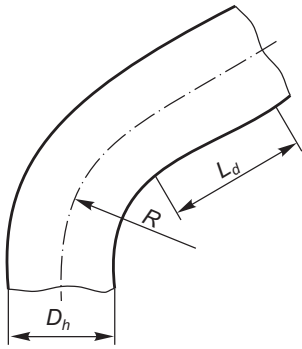
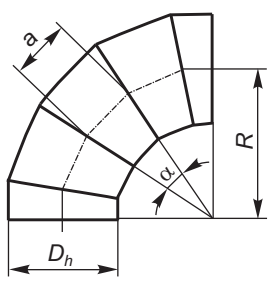
Таблица В.7 — Параметры характеристики регуляторов тяги

Вид регулятора тяги	a_1 , Па·с/кг	a_2 , Па·(с/кг) ²
1	400	120 000
2	200	30 000
3	140	11 400
4	97	5000
5	74	2800
6	48	1260

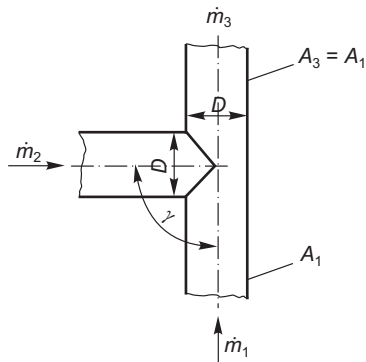
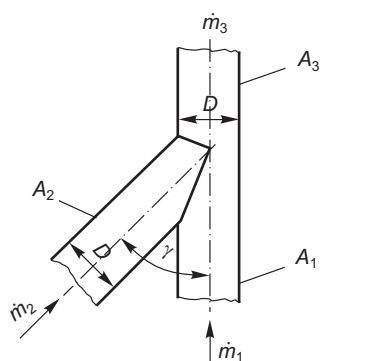
Окончание таблицы В.7

Примечание — Выбор параметров характеристики a_1 и a_2 производят по классификации регуляторов тяги по шести видам. Чтобы определить, к какому виду относится регулятор тяги, требуется кривая рабочей характеристики. Кривую рабочей характеристики получают, определяя объемный поток, проходящий через регулятор тяги, при трех значениях давления 5, 10 и 40 Па, превышающих номинальное значение входной мощности a_0 (параметр определяют по формулам (56) и (57)). Регулятор тяги относится к тому виду, для которого все части кривой рабочей характеристики (все три измеренные значения потока) располагаются выше определенной кривой из ряда кривых, приведенных в приложении D.

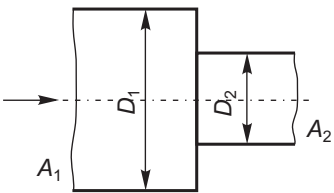
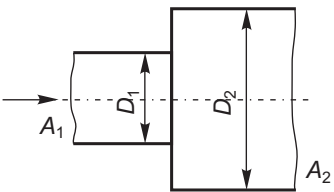
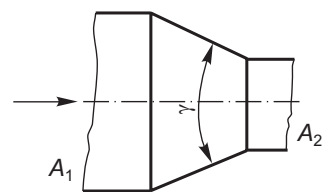
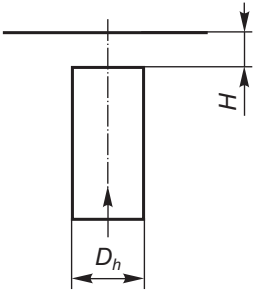
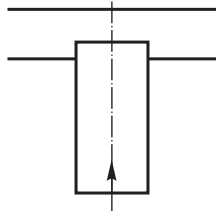
Таблица В.8 — Коэффициенты сопротивления для некоторых форм

№	Форма	Геометрические размеры	Значение ζ		
1		угол $\gamma, ^\circ$ 10 30 45 60 90	$L_d/D_h \geq 30$	$30 > L_d/D_h \geq 2$	
			0,1	0,1	
			0,2	0,3	
			0,3	0,4	
			0,5	0,7	
			1,2	1,6	
2	ОТВОДЫ 	$R = D_h$ 0,5 0,75 1,0 1,5 2,0	Отвод 90°		
			$L_d/D_h \geq 30$	$30 > L_d/D_h \geq 2$	
			1,0	1,2	
			0,4	0,5	
			0,25	0,3	
			0,2	0,2	
3		$R = D_h$ 0,5 0,75 1,0 1,5 2,0	Отвод 60°		
			$L_d/D_h \geq 30$	$30 > L_d/D_h \geq 2$	
			0,6	1,0	
			0,3	0,4	
			0,2	0,3	
			0,2	0,2	
4		$a = 2R \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ $a: D_h$ 1,0 1,5 2,0 3,0 5,0	Отвод 90° Число участков		
			$2 \times 45^\circ$	$3 \times 30^\circ$	$4 \times 22,5^\circ$
			0,4	0,25	0,17
			0,3	0,18	0,13
			0,3	0,17	0,12
			0,35	0,19	0,13
0,4	0,20	0,15			
Допускается интерполяция между приведенными параметрами.					

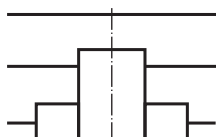
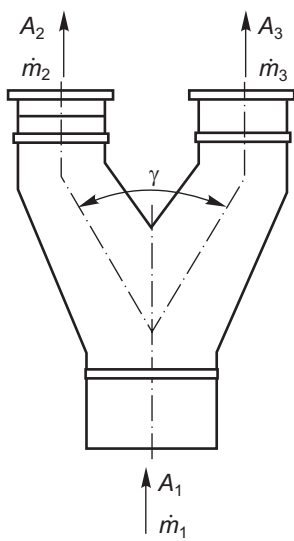
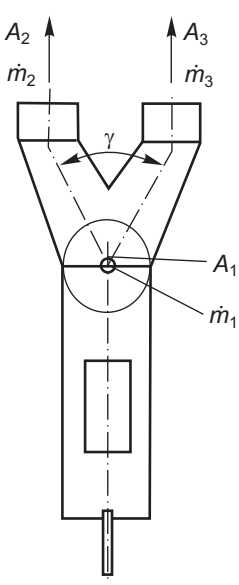
Продолжение таблицы В.8

№	Форма	Геометрические размеры	Значение ζ																																											
5	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 20px;">  </div> <div>  </div> <p>положение: W 3</p> </div>	<p>угол $\gamma = 90^\circ$</p> <p>$A_3/A_2=1,0$</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>$\dot{m}_2:\dot{m}_3$</th> <th>ζ_{2-3}</th> <th>ζ_{1-3}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,0</td><td>-0,92</td><td>0,03</td></tr> <tr><td>0,2</td><td>-0,38</td><td>0,20</td></tr> <tr><td>0,4</td><td>0,10</td><td>0,35</td></tr> <tr><td>0,6</td><td>0,53</td><td>0,47</td></tr> <tr><td>0,8</td><td>0,89</td><td>0,56</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>1,20</td><td>0,62</td></tr> </tbody> </table> <p>угол $\gamma = 45^\circ$</p> <p>$A_3/A_2=1,6$</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>$\dot{m}_2:\dot{m}_3$</th> <th>ζ_{2-3}</th> <th>ζ_{1-3}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,0</td><td>-0,92</td><td>0,03</td></tr> <tr><td>0,2</td><td>-0,42</td><td>0,16</td></tr> <tr><td>0,4</td><td>0,04</td><td>0,17</td></tr> <tr><td>0,6</td><td>0,22</td><td>0,06</td></tr> <tr><td>0,8</td><td>0,35</td><td>-0,18</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,35</td><td>-0,53</td></tr> </tbody> </table>	$\dot{m}_2:\dot{m}_3$	ζ_{2-3}	ζ_{1-3}	0,0	-0,92	0,03	0,2	-0,38	0,20	0,4	0,10	0,35	0,6	0,53	0,47	0,8	0,89	0,56	1,0	1,20	0,62	$\dot{m}_2:\dot{m}_3$	ζ_{2-3}	ζ_{1-3}	0,0	-0,92	0,03	0,2	-0,42	0,16	0,4	0,04	0,17	0,6	0,22	0,06	0,8	0,35	-0,18	1,0	0,35	-0,53		
$\dot{m}_2:\dot{m}_3$	ζ_{2-3}	ζ_{1-3}																																												
0,0	-0,92	0,03																																												
0,2	-0,38	0,20																																												
0,4	0,10	0,35																																												
0,6	0,53	0,47																																												
0,8	0,89	0,56																																												
1,0	1,20	0,62																																												
$\dot{m}_2:\dot{m}_3$	ζ_{2-3}	ζ_{1-3}																																												
0,0	-0,92	0,03																																												
0,2	-0,42	0,16																																												
0,4	0,04	0,17																																												
0,6	0,22	0,06																																												
0,8	0,35	-0,18																																												
1,0	0,35	-0,53																																												
<p>Формулы для вычисления коэффициентов сопротивления сборной конструкции^{а)}:</p> $\zeta_{2-3} = -0,92 \left(1 - \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3}\right)^2 - \left(\frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3}\right)^2 \left[1,2 \left(\frac{A_3}{A_2} \cos \gamma - 1\right) + 0,8 \left(1 - \left(\frac{A_3}{A_2}\right)^2\right) - \left(1 - \left(\frac{A_3}{A_2}\right)^{-1}\right) \cdot \frac{A_3}{A_2} \cos \gamma \right]$ $+ \left(2 - \left(\frac{A_3}{A_2}\right)^{-1}\right) \cdot \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3} \left(1 - \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3}\right)$ $\zeta_{1-3} = 0,03 \left(1 - \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3}\right)^2 - \left(\frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3}\right)^2 \left[1 + 1,62 \left(\frac{A_3}{A_2} \cos \gamma - 1\right) - 0,38 \left(1 - \left(\frac{A_3}{A_2}\right)^{-1}\right) \right]$ $+ \left(2 - \left(\frac{A_3}{A_2}\right)^{-1}\right) \cdot \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3} \left(1 - \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3}\right)$																																														
<p>^{а)} По Гарделю.</p> <p>Допускается интерполяция между приведенными параметрами с $\frac{A_3}{A_2} \geq 1$; $0 \leq \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3} \leq 1,0$; $0^\circ < \gamma \leq 90^\circ$.</p> <p>Для $\frac{A_3}{A_2} < 1$ местное сопротивление соединения можно определить, как сумму местного сопротивления сужения поперечного сечения (см. соответственно № 6 и № 8) и соединения $\frac{A_3}{A_2} = 1$.</p>																																														

Продолжение таблицы В.8

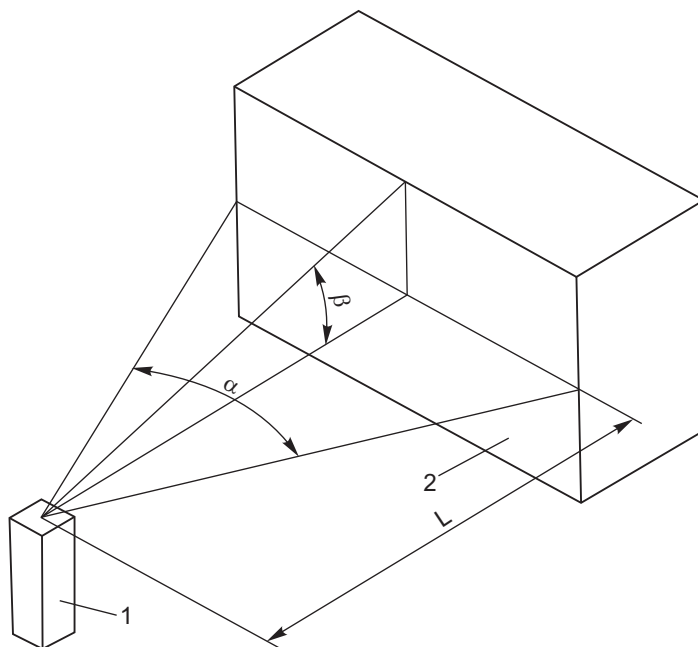
№	Форма	Геометрические размеры	Значение ζ		
6	 <p>положение: W 2</p>	$A_2:A_1$ 0,4 0,6 0,8	0,33 0,25 0,15 Круглое входное отверстие $\zeta = 0$		
7	 <p>положение: W 1</p>	$A_1:A_2$ 0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0	1,0 0,7 0,4 0,2 0,1 0		
8	 <p>положение: W 2</p>	$A_2:A_1$ 0,10 0,25 0,45 1,0	$\gamma = 30^\circ$	$\gamma = 60^\circ$	$\gamma = 90^\circ$
			0,05 0,04 0,05 0,0	0,08 0,07 0,07 0,0	0,19 0,17 0,14 0,0
9		H/D_h 0,5 1,0	1,5 1,0		
10	 <p>Оголовки дымового канала ($P_L = 0$) в соответствии с EN 1856-1</p>		1,6		

Окончание таблицы В.8

№	Форма	Геометрические размеры	Значение ζ
11	<p style="text-align: center;">  </p> <p>Аэродинамический оголовок дымовых труб положительного давления и отопительного устройства с закрытой камерой сгорания ($P_L = 0$) в соответствии с EN 1856-1</p>		<p style="text-align: center;">5,2</p> <p style="text-align: center;">($\zeta_{\text{вход}}=3,2$)</p> <p style="text-align: center;">($\zeta_{\text{выход}}=2,0$)</p>
12	<p style="text-align: center;">  </p>	<p style="text-align: center;">$\gamma \approx 60^\circ$</p> <p style="text-align: center;">$\frac{A_3}{A_2} = 1$</p> <p style="text-align: center;">$\frac{A_3}{A_1} = 0,5$</p> <p style="text-align: center;">$\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_2} = 1$</p> <p style="text-align: center;">$\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} = 0,5$</p>	<p style="text-align: center;">0,5</p>
13	<p style="text-align: center;">  </p>	<p style="text-align: center;">$\gamma \approx 60^\circ$</p> <p style="text-align: center;">$\frac{A_3}{A_2} = 1$</p> <p style="text-align: center;">$\frac{A_3}{A_1} = 0,5$</p> <p style="text-align: center;">$\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_2} = 1$</p> <p style="text-align: center;">$\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} = 0,5$</p>	<p style="text-align: center;">2,6</p>

Приложение С
(справочное)

Расположение выхода дымовой трубы
относительно близлежащих строений



1 — дымовая труба; 2 — строение

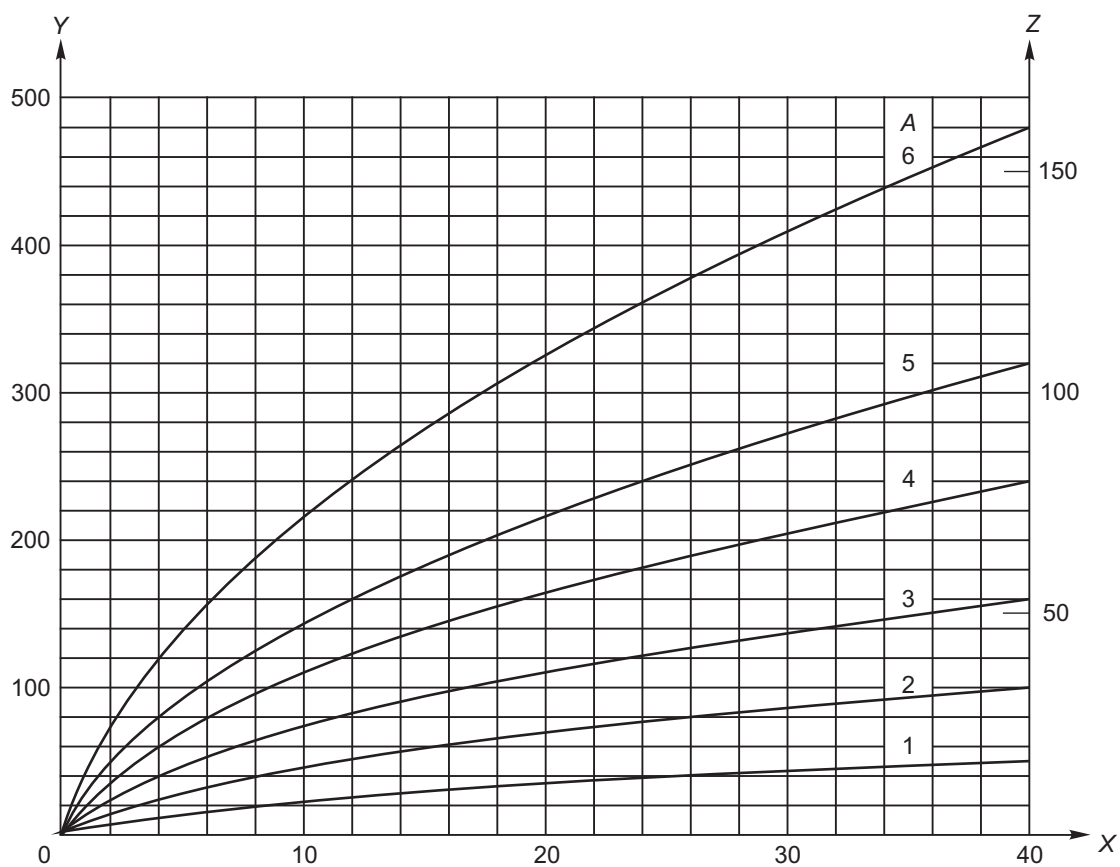
Рисунок С.1 — Расположение выхода дымовой трубы

Считается, что близлежащие строения оказывают воздействие на выход дымовой трубы в тех случаях, когда:

- расстояние по горизонтали L между выходом и строением менее 15 м;
- протяженность строения, если смотреть с позиции выхода дымовой трубы в горизонтальной плоскости, составляет угол α не более чем 30° ;
- верхняя граница здания, если смотреть с позиции выхода дымовой трубы, поднимается над горизонтом более чем на 10° (угол β).

Приложение D
(справочное)

Предельные кривые классификации для регулятора тяги



A — тип регуляторов тяги; X — стандартное отклонение;
Y — объемный поток; Z — массовый поток дымовых газов

Рисунок D.1 — Предельные кривые классификации для регулятора тяги

Приложение Е (справочное)

Определение газовой постоянной R с учетом конденсации

Стандартный метод расчета газовой постоянной дымовых газов R с использованием коэффициента f_R , зависящего от вида топлива, с учетом и без учета конденсации, приведен в таблице В.1 и формуле (В.3) (приложение В). Метод, учитывающий конденсацию, не учитывает различие в интенсивности конденсации, поэтому дает значение f_R исходя из предположения об относительно большом количестве конденсата. Это ведет к заниженному значению газовой постоянной R и теоретической тяги P_H .

Ниже приведен метод расчета газовой постоянной R с учетом интенсивности конденсации. Для вычисления теплоты конденсации в указанном методе использован расчет, приведенный в разделе 8. Для определения газовой постоянной дымовых газов необходимо выполнить этот расчет с использованием температуры наружного воздуха из условия по давлению. С позиции безопасности расчет необходимо выполнить с учетом большого количества конденсата, что является отступлением от требований раздела 8. Поэтому для той части теплоты конденсации, которая участвует в вычислениях f_K , следует использовать значение 100 %. Поскольку этот метод дает значения температуры дымовых газов выше действительных, то его не следует применять для определения температуры дымовых газов в дымовой трубе или в присоединительном дымоотводе. Для таких вычислений может быть использован метод, приведенный в разделе 5 или 8.

Для вычисления средней газовой постоянной дымовых газов R с использованием формулы (В.3) (таблица В.1, приложение В) применяют следующую формулу:

$$R = \frac{\frac{R_{o,0}}{2} + \sum_{j=1}^{N_{seg}-1} R_{o,j} + \frac{R_{o,N_{seg}}}{2}}{N_{seg}}, \quad (E.1)$$

- где R — средняя газовая постоянная дымовых газов, Дж/(кг·К);
 $R_{o,0}$ — газовая постоянная дымовых газов на входе в первый отрезок, Дж/(кг·К);
 $R_{o,j}$ — газовая постоянная дымовых газов на выходе из отрезка j , Дж/(кг·К);
 $R_{o,N_{seg}}$ — газовая постоянная дымовых газов на выходе из последнего отрезка, Дж/(кг·К);
 N_{seg} — количество отрезков.

(Измененная редакция, А1:2002)

Библиография

- EN 1745:2002 Masonry and masonry products — Methods for determining design thermal values
(Каменная кладка и изделия для каменной кладки. Методы определения значений термической характеристики)
- prEN 12391-1 Chimneys Metal — chimneys — Part 1: Execution Standard
(Дымовые трубы. Изготовление металлических дымовых труб. Часть 1. Дымовые трубы для отопительных устройств с открытой камерой сгорания)
(Измененная редакция, А1:2002)

Приложение Д.А
(справочное)

**Сведения о соответствии государственных стандартов
ссылочным европейским стандартам**

Таблица Д.А.1

Обозначение и наименование европейского стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование государственного стандарта
EN 1443:2003 Трубы дымовые. Общие требования	IDT	СТБ EN 1443-2012 Трубы дымовые. Общие требования
EN 1856-1:2009 Трубы дымовые. Требования к металлическим дымовым трубам. Часть 1. Детали дымовых труб	IDT	СТБ EN 1856-1-2009 Трубы дымовые. Требования к металлическим дымовым трубам. Часть 1. Детали дымовых труб
EN 1859:2009 Трубы дымовые. Металлические дымовые трубы. Методы испытаний	IDT	СТБ EN 1859-2012 Трубы дымовые. Металлические дымовые трубы. Методы испытаний
EN 13502:2002 Трубы дымовые. Требования и методы испытаний глиняных и керамических оголовков вытяжных труб	IDT	СТБ EN 13502-2009 Трубы вытяжные. Требования и методы испытаний глиняных и керамических оголовков вытяжных труб