ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59978.1— 2022

Конструкции для удаления дымовых газов

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Часть 1

Конструкции для удаления дымовых газов от одного источника тепла

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «РСТ») при участии Некоммерческого партнерства в сфере развития печного дела «Альянс. Печных дел мастера» (НП «Альянс. Печных дел мастера») на основе собственного перевода на русский язык немецкоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 061 «Вентиляция и кондиционирование»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 июля 2022 г. № 634-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к стандарту ДИН ЕН 13384-1:2015+A1:2019 «Конструкции для удаления дымовых газов. Методы теплотехнического и аэродинамического расчетов. Часть 1. Конструкции для удаления дымовых газов от одного источника тепла» (DIN EN 13384-1:2015+A1:2019 «Abgasanlagen — Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren — Teil 1: Abgasanlagen mit einer Verbrennungseinrichtung», MOD) путем изменения отдельных фраз (слов, ссылок), которые выделены в тексте курсивом.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов европейским стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Обозначения, наименования и единицы измерения 4
5 Методика расчета конструкций для удаления продуктов сгорания, за исключением системы «воздух—дымовые газы» (LAS) 8
5.1 Общие принципы 8
5.2 Требования по давлению 9
5.3 Требования по температуре 10
5.4 Методика расчета 10
5.5 Параметры характеристик продуктов сгорания источника тепла 11
5.6 Параметры для расчета 13
5.7 Основные расчетные величины 13
5.8 Определение значений температуры 16
5.9 Определение плотности дымовых газов и скорости дымовых газов 18
5.10 Определение давлений 19
5.11 Минимально необходимое и максимально возможное разрежение (P_{Ze} и P_{Zemax}) и максимально допустимое и минимально необходимое избыточное давление (P_{ZOe} и P_{ZOemin}) на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов 21
5.12 Расчет температуры внутренней стенки устья конструкции для удаления дымовых газов (T_{iob}) 24
6 Дополнительный воздух в конструкциях для удаления дымовых газов, работающих в режиме разрежением 25
6.1 Общие положения 25
6.2 Методика расчета 25
6.3 Основные параметры для расчета дополнительного воздуха 25
6.4 Давление 26
6.5 Условие по температуре с учетом дополнительного воздуха 28
7 Методика расчета системы «воздух—дымовые газы» (LAS) 29
7.1 Общие принципы 29
7.2 Требования по давлению 29
7.3 Условия по температуре 30
7.4 Методика расчета 30
7.5 Параметры дымовых газов источника тепла 30
7.6 Параметры для расчета 30
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 необходимое разрежение и максимально возможное разрежение (P_{Ze} и P_{Zemax}) и максимально допустимое и минимально необходимое избыточное давления (P_{ZOe} и P_{ZOemin}) на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов 46
7.12 Вычисление температуры внутренней поверхности устья конструкции для удаления дымовых газов T_{iob} 48
8 Учет теплоты конденсации водяного пара из дымовых газов 49
8.1 Общие положения 49
8.2 Возникновение конденсации 49
8.3 Расчет температуры дымовых газов на выходе из отрезка конструкции для удаления дымовых газов ($j \geq N_{segK}$) с учетом конденсации 51
9 Учет вентиляторов для удаления дымовых газов 55
9.1 Общие положения 55
9.2 Встроенные вентиляторы 55
9.3 Дымосос 56

Приложение А (справочное) Вычисление термического сопротивления 57
Приложение В (справочное) Таблицы 58
Приложение С (справочное) Расположение устья конструкции для удаления дымовых газов относительно близлежащих строений 68
Приложение D (справочное) Определение газовой постоянной *R* с учетом конденсации 69
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов европейским стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте 70
Библиография 71

Введение

Настоящая серия стандартов «Конструкции для удаления дымовых газов. Теплотехнические и аэродинамические методы расчета» состоит из трех частей:

- часть 1. Конструкции для удаления дымовых газов от одного источника тепла;
- часть 2. Конструкции для удаления дымовых газов от нескольких источников тепла;
- часть 3. Порядок разработки схем и таблиц для конструкций для удаления дымовых газов от каминов.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Конструкции для удаления дымовых газов

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Часть 1

Конструкции для удаления дымовых газов от одного источника тепла

Chimneys. Thermal and fluid dynamic calculations. Part 1. Chimneys serving one heating appliance

Дата введения — 2023—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методики вычисления теплотехнических и аэродинамических характеристик конструкций для удаления дымовых газов, с присоединенным одним источником тепла.

Методики в настоящем стандарте применимы к конструкциям для удаления дымовых газов, работающих под разрежением или с избыточным давлением для сухих или влажных условий эксплуатации. Стандарт применим к конструкциям для удаления дымовых газов с присоединенными источниками тепла при условии, что для топлива известны характеристики дымовых газов, используемые в вычислениях.

Методики в настоящем стандарте применимы к конструкциям для удаления дымовых газов с одним входным отверстием, к которому подсоединен один источник тепла.

Во второй части стандарта установлены методики расчета как конструкций для удаления дымовых газов со множеством входных отверстий, так и конструкций для удаления дымовых газов с одним входным отверстием, к которому присоединено множество источников тепла.

В третьей части приведены методики разработки диаграмм и таблиц для конструкций для удаления дымовых газов, обслуживающих один источник тепла.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 59375.1 Конструкции для удаления дымовых газов. Требования к металлическим конструкциям для удаления дымовых газов. Часть 1. Строительные компоненты конструкций для удаления дымовых газов

ГОСТ Р 59376 Конструкции для удаления дымовых газов. Металлические конструкции для удаления дымовых газов. Методы испытаний

ГОСТ Р 59412 Конструкции для удаления дымовых газов. Общие требования безопасности

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по *ГОСТ Р 59412,* а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **тепловая мощность *Q*** (wärmeleistung, *Q*): Количество тепла, производимое источником тепла в единицу времени.

3.1.1 **номинальная тепловая мощность Q_N** (nennwärmeleistung, Q_N): Мощность источника тепла для режима работы в течение определенного времени между загрузками топлива, установленная производителем для определенного вида топлива.

3.1.2 **диапазон тепловой мощности** (wärmeleistungsbereich): Совокупность значений тепловой мощности в области номинального значения, установленная изготовителем, при которых можно использовать источник тепла.

3.2 **тепловая мощность горения Q_F** (feuerungswärmeleistung, Q_F): Количество теплоты, подводимое к источнику тепла, образующееся в результате сжигания топлива в единицу времени, исходя из его низшей теплотворной способности H_u.

3.3 **коэффициент полезного действия источника тепла η_W** (wirkungsgrad der verbrennungseinrichtung, η_W): Отношение выделенной полезной тепловой мощности Q источника тепла к тепловой мощности горения Q_F.

3.4 **массовый расход дымовых газов $\dot{m}$** (abgasmassenstrom, $\dot{m}$): Масса дымовых газов, отводимых от источника тепла через соединительный элемент в единицу времени.

3.5 **эффективная высота конструкции для удаления дымовых газов *H*** (wirksame Höhe der Abgasanlage, *H*): Разность высот между осью входа дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов и устьем конструкции для удаления дымовых газов.

3.6 **эффективная высота соединительного элемента H_V** (wirksame Höhe des Verbindungsstücks, H_V): Разность высот между осью выхода дымовых газов из источника тепла и осью входа дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов.

Примечание — В случае конструкции для удаления дымовых газов для открытого камина, H_V — разность высот, на которых расположены верхняя грань топки и ось входа дымовых газов в дымовую трубу.

3.7 **тяга** (zug): Значение абсолютной величины разрежения (отрицательного давления) в конструкции для удаления дымовых газов.

3.8 **самотяга P_H** (ruhedruck, P_H): Перепад давления, вызванный разностью в плотности столба воздуха на открытом воздухе и эквивалентного столба дымовых газов в вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов.

3.9 **сопротивление трения вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов P_R** (widerstandsdruck des senkrechten Teils der Abgasanlage, P_R): Давление, необходимое для преодоления потоком дымовых газов возникающего сопротивления в вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов.

3.10 **ветровое давление P_L** (winddruck, P_L): Давление, оказываемое ветром на конструкцию для удаления дымовых газов.

3.11 **минимальное разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов P_Z** (minimaler Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage, P_Z): Разность между минимальной самотягой и суммой максимального сопротивления в вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов и ветрового давления.

3.12 **максимальное разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов P_{Zmax}** (maximaler Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage, P_{Zmax}): Разность между максимальной самотягой и суммой минимального сопротивления в вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов.

3.13 **необходимое давление для преодоления сопротивления источника тепла P_W** (notwendiger Förderdruck für die Verbrennungseinrichtung, P_W): Разность между давлением воздуха в помещении, где установлен источник тепла, и разрежением дымовых газов в выходном патрубке в месте соединения с конструкцией для удаления дымовых газов, которая необходима для поддержания бесперебойной работы источника тепла.

3.14 **максимальное разрежение для источника тепла P_{Wmax}** (zulässiger Unterdruck an der Verbrennungseinrichtung, P_{Wmax}): Максимальная разность между статическим давлением воздуха в помещении, где установлен источник тепла, и статическим давлением дымовых газов в выходном патрубке источника тепла, необходимая для поддержания бесперебойной работы источника тепла.

3.15 **требуемое давление для преодоления сопротивления соединительного элемента P_{FV}** (notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück, P_{FV}): Перепад статического давления между осью устья соединительного элемента и осью патрубка источника тепла, образующийся вследствие действия самотяги и сопротивления соединительного элемента.

3.16 **требуемое давление для преодоления сопротивления притока воздуха P_B** (notwendiger Förderdruck für die Zuluft, P_B): Разность между статическим давлением наружного воздуха и статическим давлением воздуха на той же высоте в помещении, в котором установлен источник тепла.

3.17 **минимально необходимое разрежение на входе дымовых газов в конструкцию для удаления дымовых газов P_{Ze}** (notwendiger Unterdruck an der Abgaseinführung in die Abgasanlage, P_{Ze}): Сумма необходимого рабочего давления источника тепла, необходимого рабочего давления в соединительном элементе и необходимого рабочего давления для притока воздуха.

3.18 **допустимое разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов P_{Zemax}** (zulässiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage, P_{Zemax}): Сумма допустимого разрежения для источника тепла, необходимого рабочего давления в соединительном элементе и необходимого рабочего давления для притока воздуха.

3.19 **максимальное избыточное давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов P_{ZO}** (maximaler Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage, P_{ZO}): Разность между максимальным давлением сопротивления, минимальной самотягой вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов и ветровым давлением.

3.20 **минимальное избыточное давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов P_{ZOmin}** (minimaler Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage, P_{ZOmin}): Разность между минимальным сопротивлением и максимальной самотягой конструкции для удаления дымовых газов.

3.21 **максимальное требуемое давление для преодоления сопротивления источника тепла P_{WO}** (maximaler Förderdruck an der Verbrennungseinrichtung, P_{WO}): Максимально допустимая разница давлений между статическим давлением дымовых газов в патрубке на выходе из источника тепла и статическим давлением воздуха на входе в источник тепла, установленная для его надлежащей работы.

3.22 **минимально допустимое избыточное давление в источнике тепла P_{WOmin}** (erforderlicher Überdruck an der Verbrennungseinrichtung, P_{WOmin}): Минимально допустимая разница давлений между статическим давлением дымовых газов в патрубке на выходе из источника тепла и статическим давлением воздуха на входе в источник тепла, установленная для его надлежащей работы; это значение может быть отрицательным.

3.23 **максимально допустимое избыточное давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов P_{ZOe}** (maximaler nutzbarer Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage, P_{ZOe}): Разница между располагаемым рабочим давлением источника тепла, необходимым рабочим давлением в соединительном элементе и необходимым рабочим давлением приточного воздуха.

3.24 **дополнительный воздух** (nebenluft): Окружающий воздух, который подмешивается к дымовым газам дополнительно к номинальному массовому потоку.

3.25 **минимальное избыточное давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов P_{ZOemin}** (minimaler Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage, P_{ZOemin}): Разность между минимально допустимым избыточным давлением источника тепла и суммой необходимого рабочего давления в соединительном элементе и необходимого рабочего давление для притока воздуха.

3.26 **устройство регулирования присоса воздуха** (nebenluftvorrichtung): Регулятор тяги или стабилизатор потока.

3.27 **ограничитель тяги** (zugbegrenzer): Устройство, которое автоматически подает окружающий воздух в конструкцию для удаления дымовых газов, соединительный элемент или источник тепла.

3.28 **стабилизатор потока** (strömungssicherung): Устройство, установленное в канале дымового тракта источника тепла, предназначенное для поддержания качества горения в определенных пределах и обеспечения стабильности горения в определенных условиях с возможным возникновением прямого и обратного потоков дымовых газов.

3.29 **предельная температура внутренней поверхности T_g** (grenztemperatur an der Innenwand, T_g): Допустимая минимальная температура внутренней поверхности устья конструкции для удаления дымовых газов.

3.30 **воздушная шахта** (luftschacht): Строительный компонент или строительные компоненты, параллельный(е) вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов (установленный(е) рядом с ней или концентрически(е)), который(е) подают наружный воздух на горение к входному отверстию соединительного воздуховода.

3.31 **система «воздух—дымовые газы»** (Luft-Abgas-System): Конструкция для удаления продуктов сгорания, в которой место входа приточного воздуха в воздушную шахту находится рядом с местом выхода дымовых газов из дымового тракта, при этом вход и выход расположены таким образом, чтобы компенсировалось влияние ветра.

3.32 **секция конструкции для удаления дымовых газов** (abschnitt einer Abgasanlage): Расчетный участок вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов.

3.33 **массовый расход конденсата** $\Delta\dot{m}_D$ (kondensat-massenstrom, $\Delta\dot{m}_D$): Масса водяного пара, которая сконденсировалась из дымовых газов в источнике тепла, соединительном элементе или в конструкции для удаления дымовых газов в единицу времени.

3.34 **соединительный воздуховод** (verbindendungsluftleitung): Строительный компонент(ы), который(е) соединяет(ют) выходное отверстие шахты подачи воздуха с источником тепла, работающим без использования воздуха помещения.

3.35 **коэффициент конденсации** (kondensationsfaktor, f_K): Часть теоретически возможного максимального массового расхода конденсата, используемая в вычислениях.

3.36 **вентиляторы удаления дымовых газов** (abgasventilatoren): Дымосос или встроенный вентилятор.

3.36.1 **дымосос** (abgassauger): Вытяжной вентилятор дымовых газов, устанавливаемый в устье конструкции для удаления дымовых газов.

3.36.2 **встроенный вентилятор** (einbauventilator): Вытяжной вентилятор дымовых газов, который выполнен в виде секции соединительного элемента.

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

Обозначение	Наименование	Единицы измерения
A	Площадь поперечного сечения	$м^2$
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
E	Коэффициент теплового потока	—
g	Ускорение свободного падения	$м/с^2$
H	Эффективная высота вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов	м
k	Коэффициент теплопередачи	$Вт/(м^2 · К)$
K	Коэффициент охлаждения	—
L	Длина	м
l_C	Доля поверхности конденсации	—
$\dot{m}$	Массовый расход дымовых газов	кг/с
$\dot{m}_W$	Массовый расход дымовых газов источника тепла, приведенный по отношению к водному конденсату	кг/с

Продолжение таблицы 1

Обозначение	Наименование	Единицы измерения
$\dot{m}_D$	Массовый расход конденсата	кг/с
Nu	Число Нуссельта	—
N_{seg}	Количество секций (количество сегментов)	—
p	Статическое давление	Па
p_L	Давление наружного воздуха	Па
P_B	Требуемое давление для преодоления сопротивления притока воздуха	Па
P_E	Сопротивление вследствие трения и формы вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов	Па
P_{FV}	Требуемое давление для преодоления сопротивления соединительного элемента	Па
P_G	Перепад давления, вызванный изменением скорости дымовых газов в вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов	Па
P_H	Самотяга	Па
P_{HV}	Самотяга в соединительном элементе	Па
P_L	Ветровое давление	Па
P_{NL}	Требуемое давление для преодоления сопротивления устройства вторичного воздуха	Па
P_R	Сопротивление вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов	Па
P_{RV}	Сопротивление соединительного элемента	Па
P_W	Необходимое давление для преодоления сопротивления источника тепла	Па
P_{Wmax}	Максимально допустимое разрежение источника тепла	Па
P_{WO}	Доступное давление для преодоления сопротивления источника тепла	Па
P_{WOmin}	Требуемое избыточное давление источника тепла	Па
P_Z	Минимальное разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов	Па
P_{Zmax}	Максимальное разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов	Па
P_{Ze}	Минимально необходимое разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов	Па
P_{Zemax}	Максимально допустимое разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов	Па
P_{ZO}	Максимальное избыточное давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов	Па
P_{ZOmin}	Минимальное избыточное давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов	Па
P_{ZOe}	Максимально допустимое избыточное давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов	Па
P_{ZOemin}	Минимально допустимое избыточное давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов	Па
$P_{Z\ excess}$	Максимально допустимое расчетное давление конструкции для удаления дымовых газов	Па
$P_{ZV\ excess}$	Максимально допустимое расчетное давление соединительного элемента	Па
Pr	Число Прандтля	—

Продолжение таблицы 1

Обозначение	Наименование	Единицы измерения
q_C	Теплый поток от дымового газа к наружной поверхности	Вт
q_K	Теплота конденсации	Вт
Q	Тепловая мощность	кВт
Q_F	Тепловая мощность горения	кВт
Q_N	Номинальная тепловая мощность	кВт
r	Средняя шероховатость 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	Аэродинамический коэффициент стабильности потока	—
S_H	Поправочный коэффициент для неустановившегося температурного режима	—
S_{rad}	Поправочный коэффициент для излучения	—
t	Температура	°С
T	Абсолютная температура	К
T_g	Предельная температура	К
T_{io}	Температура внутренней стенки устья	К
T_{iob}	Температура внутренней поверхности устья при температуре равновесия	К
T_{irb}	Температура внутренней поверхности непосредственно перед дополнительной теплоизоляцией	К
T_L	Температура наружного воздуха	К
T_m	Средняя температура дымовых газов	К
T_p	Точка росы водяного пара	К
T_{sp}	Температура точки росы	К
T_u	Температура окружающего воздуха	К
T_{ub}	Температура окружающего воздуха в отапливаемых помещениях	К
T_{uh}	Температура окружающего воздуха в обогреваемых зонах	К
T_{ul}	Температура окружающего воздуха в зонах, расположенных вне здания	К
T_{uo}	Температура окружающего воздуха вне помещения	К
T_{ur}	Температура окружающего воздуха непосредственно перед дополнительной теплоизоляцией	К
T_{uu}	Температура окружающего среды для необогреваемых помещений внутри здания	К
T_W	Температура дымовых газов источника тепла	К
T_{WN}	Температура дымовых газов при номинальной тепловой мощности	К
T_{Wmin}	Температура дымовых газов при минимальной тепловой мощности	К
U	Внутренний периметр сегмента дымового канала	м
w	Средняя скорость по поперечному сечению	м/с
w_m	Средняя скорость на установленном отрезке	м/с
y	Показатель формы	—

Окончание таблицы 1

Обозначение	Наименование	Единицы измерения
z	Высота над уровнем моря	м
α	Коэффициент теплопередачи	Вт/(м^2 · К)
β	Соотношение массовых расходов воздуха для горения и дымовых газов	—
Υ	Угол между направлениями потоков	°
δ	Толщина слоя	м
ε	Коэффициент излучения черного тела, испускаемого поверхностью	—
ζ	Коэффициент сопротивления в результате изменений направления и/или поперечного сечения и/или изменений массового расхода дымовых газов	—
η	Динамическая вязкость	Н · с/м^2
η_W	КПД источника тепла	—
η_{WY}	КПД источника тепла 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
$\sigma(CO_2)$	Объемная концентрация CO_2	%
$\sigma(H_2O)$	Объемная концентрация H_2O (водяного пара)	%
σ_{Rad}	Коэффициент излучения абсолютно черного тела	Вт/(м^2 · К^4)
ψ	Коэффициент сопротивления вследствие трения в дымовом канале	—
$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)$	Термическое сопротивление	м^2 · К/Вт

Таблица 2 — Дополнительные индексы

Обозначение	Наименование	Единицы измерения
a	Внешняя сторона	—
A	Дымовые газы	—
b	Условие равновесия по температуре	—
B	Воздух для горения	—
D	Водяной пар	—
e	Вход	—
F	Открытый камин	—
G	Изменение скорости	—
i	Внутренняя сторона	—
K	Конденсация	—
L	Наружная атмосфера	—
m	Среднее значение	—
M	Смесь	—
n	Порядковый номер	—
N	Номинальное значение	—

Окончание таблицы 2

Обозначение	Наименование	Единицы измерения
NL	Дополнительный воздух	—
o	Выход из дымовой трубы	—
O	Избыточное давление	—
tot	Всего (итого) по всем сечениям (отрезкам)	—
u	Окружающий воздух	—
V	Соединительный элемент	—
W	Источник тепла	—

5 Методика расчета конструкций для удаления продуктов сгорания, за исключением системы «воздух—дымовые газы» (LAS)

5.1 Общие принципы

Расчет внутренних размеров (поперечного сечения) конструкции для удаления дымовых газов под разрежением основан на следующих условиях:

- минимальное разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов должно быть больше или равно минимально необходимому разрежению на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов;
- минимальное разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов должно быть больше или равно необходимому давлению для преодоления сопротивления притока воздуха;
- максимальное разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов должно быть меньше или равно допустимому разрежению на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов;
- температура внутренней стенки устья конструкции для удаления дымовых газов должна быть больше или равна предельной температуре.

Расчет внутренних размеров (поперечного сечения) конструкции для удаления дымовых газов с избыточным давлением основан на следующих четырех критериях:

- максимальное избыточное давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов должно быть меньше или равно максимально допустимому избыточному давлению на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов;
- максимальное избыточное давление в соединительном элементе и в конструкции для удаления дымовых газов не должно превышать избыточное давление, на которое они рассчитаны;
- минимальное избыточное давление на входе дымовых газов в конструкции для удаления дымовых газов должно быть больше или равно минимальному перепаду давлений на входе дымовых газов в конструкции для удаления дымовых газов;
- температура внутренней поверхности устья конструкции для удаления дымовых газов должна быть больше или равна предельной температуре.

Примечание — Требования к максимальному разрежению или минимальному положительному давлению обязательны только в том случае, если существует верхний предел для разрежения в источниках тепла, работающих под разрежением, или нижний предел для перепада давлений в источниках тепла, работающих в условиях избыточного давления.

Для контроля выполнения указанных требований используют два условия внешней среды:

- минимальное разрежение и максимальное избыточное давление вычисляют для условий, когда тепловая нагрузка конструкции для удаления дымовых газов является минимальной (т. е. высокая наружная температура);
- минимальное разрежение и минимальное избыточное давление, а также температуру внутренней поверхности вычисляют для условий, когда температура внутри конструкции для удаления дымовых газов является минимальной (т. е. низкая наружная температура).

5.2 Требования по давлению

5.2.1 Конструкции для удаления дымовых газов под разрежением

Должны выполняться следующие соотношения:

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

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

и если применимо

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

где P_Z — минимальное разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов (см. 5.10), Па;

P_H — самотяга, Па;

P_R — сопротивление вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов, Па;

P_L — ветровое давление, Па;

P_W — необходимое давление для преодоления сопротивления источника тепла, Па;

P_{FV} — требуемое давление для преодоления сопротивления соединительного элемента, Па;

P_B — требуемое давление для преодоления сопротивления притока воздуха (см. 5.11.3), Па;

P_{Ze} — минимально необходимое разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов, Па;

P_{Zmax} — максимальное разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов (см. 5.11), Па;

P_{Wmax} — максимально допустимое разрежение источника тепла, Па;

P_{Zemax} — максимально возможное разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов, Па.

Примечание — Значения P_H и P_R в формулах (1) и (2a), как правило, различаются из-за разных условий.

5.2.2 Конструкции для удаления дымовых газов избыточного давления

Должны выполняться следующие соотношения:

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

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

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

и если применимо

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

где P_{ZO} — максимальное избыточное давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов, Па;

P_R — сопротивление вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов, Па;

P_H — самотяга, Па;

P_L — ветровое давление, Па;

P_{WO} — доступное давление для преодоления сопротивления источника тепла, Па;

P_B — требуемое давление для преодоления сопротивления притока воздуха (см. 5.11.3), Па;

P_{FV} — требуемое давление для преодоления сопротивления соединительного элемента, Па;

P_{ZOe} — максимальный перепад давления на входе дымовых газов в конструкцию для удаления дымовых газов, Па;

$P_{Z\ excess}$ — максимально допустимое расчетное давление конструкции для удаления дымовых газов, Па;

$P_{ZV\ excess}$ — максимально допустимое расчетное давление соединительного элемента, Па;

P_{ZOmin} — минимальное избыточное давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов, Па;

P_{WOmin} — требуемое избыточное давление источника тепла, Па;

P_{ZOemin} — минимальный перепад давления на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов, Па.

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

5.3 Требования по температуре

Должны выполняться следующие соотношения:

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

где T_{iob} — температура внутренней поверхности устья конструкции для удаления дымовых газов при температуре равновесия, К;

T_{ig} — предельная температура, К.

В случае если та часть конструкции для удаления дымовых газов, 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_{ig} для конструкции для удаления дымовых газов с сухими условиями эксплуатации должна быть температура конденсации T_{isp} дымовых газов по 5.7.6.

Предельной температурой T_{ig} для конструкции для удаления дымовых газов с влажными условиями эксплуатации должна быть температура 273,15 К, исключающая образование льда на выходе из конструкции для удаления дымовых газов.

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 ($м^2 \cdot К$)/Вт.

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

5.4 Методика расчета

Для расчета 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.

Параметры, указанные в 5.6, должны быть получены для конструкции для удаления дымовых газов и ее соединительного элемента. Для новых конструкций для удаления дымовых газов следует использовать предварительно рассчитанное значение размера дымового канала.

В 5.7—5.11 представлены вычисления, необходимые для завершения теплотехнического и аэродинамического расчета конструкции для удаления дымовых газов. 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.

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 проводить дважды:

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

При невыполнении требования по давлению для максимального разрежения (2а) или требований по температуре (6) и (7) для конструкций для удаления дымовых газов под разрежением условия по давлению или температурные условия допускается контролировать путем учета в соответствии с разделом 6 дополнительного воздуха, подмешиваемого к дымовым газам.

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

- когда источник тепла заменяют устройством, мощность которого менее 30 кВт;
- когда потери с дымовыми газами в источнике тепла составляют не менее 8 %;
- когда источник тепла оборудован стабилизатором потока, который обеспечивает достаточную вентиляцию конструкции для удаления дымовых газов при ее низкой производительности, или когда конструкция для удаления дымовых газов не работает. Это достигается превышением уровня мощности источника тепла.

5.5 Параметры характеристик дымовых газов источника тепла

5.5.1 Общие положения

Для вычисления значений температуры и давления необходимо определить три параметра характеристик дымовых газов источника тепла, такие как массовый расход дымовых газов, температура дымовых газов, минимально необходимое разрежение или максимальное избыточное давление источника тепла.

Дополнительно должны быть указаны вид используемого топлива, объемная концентрация CO_2 в дымовых газах и геометрические размеры соединительного элемента.

Типовые параметры для некоторых видов топлива приведены в таблице В.1.

Типовые параметры для некоторых видов источников тепла приведены в таблицах В.2 и В.3.

5.5.2 Массовый расход дымовых газов и массовый расход воздуха для горения

5.5.2.1 Массовый расход дымовых газов и массовый расход воздуха для горения при номинальной тепловой мощности источника тепла

Для вычисления значений давления и температуры по взаимосвязанным уравнениям (1)—(6) следует получить массовый расход дымовых газов при номинальной тепловой мощности источника тепла.

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 конструкция для удаления дымовых газов соединена с источником тепла, работающим на разных видах топлива, вычисление и определение размеров следует выполнять с учетом всех видов топлива, пригодных для этого устройства.

При наличии в источнике тепла стабилизатора потока массовый расход дымовых газов следует использовать после стабилизатора потока.

Массовый расход дымовых газов $\dot{m}$ и массовый расход воздуха для горения $\dot{m}_B$ открытого камина зависит от размера проема в камере сгорания.

При вычислении используют следующую формулу:

$$\dot{m} = f_{mf} \cdot A_F, \tag{8}$$

$$\dot{m}_B = \dot{m}, \tag{8a}$$

где f_{mf} — коэффициент массового расхода открытого камина, кг/(с · м^2);

A_F — поперечное сечение проема открытого камина, м^2.

Для открытых каминов, у которых высота проема меньше или равна его ширине, применяют: f_{mf} = 0,139 кг/(с · м^2).

Для открытых каминов, у которых высота проема больше его ширины, применяют: f_{mf} = 0,167 кг/(с · м^2).

Объемную концентрацию CO_2 в дымовых газах открытого камина можно принять равной $\sigma(CO_2)$ = 1 %.

5.5.2.2 Массовый расход дымовых газов и массовый расход воздуха для горения при минимально возможной тепловой мощности

Если источник тепла предназначен для работы в условиях модулирования, следует проводить дополнительную проверку требований по давлению и температуре для массового расхода дымовых газов и массового расхода воздуха для горения при наименьшей возможной и допустимой тепловой мощности источника тепла.

Если изготовитель не предоставит параметры дымовых газов для наименьшей тепловой мощности, используют массовый расход, составляющий третью часть массового расхода дымовых газов и массовый расход воздуха для горения при номинальной тепловой мощности.

5.5.2.3 Массовый расход дымовых газов и массовый расход воздуха для горения при максимальном разрежении или минимальном перепаде давления источника тепла

Если необходимо рассчитать максимальное разрежение или минимальное избыточное давление на входе в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов, то следует использовать данные изготовителя по массовому расходу дымовых газов и массовому расходу воздуха для горения источника тепла при максимальном разрежении или минимальном избыточном давлении.

5.5.2.4 Массовый расход дымовых газов с присосами воздуха

Если присосы воздуха подаются регулятором дополнительного воздуха или стабилизатором потока, то поток воздуха следует вычислять в соответствии с 6.3 в зависимости от существующей разности между давлением в помещении, в котором установлен источник тепла, и давлением на входе в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов или в соединительном элементе.

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 источника тепла.

При наличии в источнике тепла стабилизатора потока следует использовать значение температуры дымовых газов после стабилизатора потока. Если изготовитель предоставит значения температуры дымовых газов после стабилизатора потока в зависимости от разрежения, то при вычислении следует использовать эти данные. Если температура дымовых газов T_{WN} открытого камина не известна, то следует использовать значение t_{WN} = 80 °C (T_{WN} = 353,15 K).

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

Значение самой низкой из установленных температур дымовых газов T_{Wmin}, °C, следует получить от изготовителя источника тепла. 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 максимальном разрежении или требуемом избыточном давлении источника тепла

Для вычисления максимального разрежения или минимального избыточного давления в вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов температуру дымовых газов при максимальном разрежении или избыточном давлении в источнике тепла при необходимости следует получить от изготовителя источника тепла.

5.5.4 Необходимое давление для преодоления сопротивления источника тепла P_W в конструкции для удаления дымовых газов под разрежением

Для расчета конструкции для удаления дымовых газов под разрежением значение необходимого давления для преодоления сопротивления источника тепла P_W следует получить от изготовителя источника тепла. Если значения отсутствуют, то подходящие значения необходимого давления для преодоления сопротивления источника тепла следует выбирать в соответствующих стандартах на изготовление источника тепла. При отсутствии таких значений для источников тепла — см. таблицу В.2 (приложение В). Если доступное значение минимального необходимого давления для преодоления сопротивления является отрицательным числом (что означает работу в условиях избыточного давления), то в расчетах следует использовать значение P_W = 0.

Если для источников тепла на газовом топливе, относящихся к типу В1 (см. [1]), изготовителем не предоставлены подтвержденные данные по стабилизации потока, то для таких источников тепла на газовом топливе значение минимального разрежения принимают равным 3 Па, а для всех других газовых устройств, оборудованных стабилизатором потока — 10 Па.

Необходимое давление для преодоления сопротивления источника тепла P_W, Па, необходимое для работы открытых каминов, следует вычислять с использованием массового расхода дымовых газов и поперечного сечения устья конструкции для удаления дымовых газов. Самотягой в камине и в дымосборнике следует пренебречь. Местное сопротивление дымосборника учитывают путем использования коэффициента стабильности потока S_E = 1,5.

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

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

S_E — аэродинамический коэффициент стабильности потока;

ρ_W — плотность дымовых газов в патрубке открытого камина, кг/м^3;

A_W — поперечное сечение выходного патрубка открытого камина, м^2.

5.5.5 Максимально допустимое разрежение в источнике тепла P_{Wmax}, необходимое для расчета конструкции для удаления дымовых газов, работающей в режиме разрежения

При расчете конструкции для удаления дымовых газов, работающей в режиме разрежения, значение максимально допустимого разрежения источника тепла P_{Wmax} при необходимости следует получить у изготовителя источника тепла.

5.5.6 Максимально допустимое давление для преодоления сопротивления источника тепла P_{WO}, необходимое для расчета конструкции для удаления дымовых газов, работающей в режиме избыточного давления

При расчете конструкции для удаления дымовых газов, работающей в режиме избыточного давления, значение максимального допустимого давления для преодоления сопротивления источника тепла P_{WO} при необходимости следует получить у изготовителя источника тепла.

5.5.7 Минимальное допустимое давление для преодоления сопротивления источника тепла P_{WOmin}, необходимое для расчета конструкции для удаления дымовых газов, работающей в режиме избыточного давления

При расчете конструкции для удаления дымовых газов, работающей в режиме избыточного давления, значение минимального допустимого давления для преодоления сопротивления источника тепла P_{WOmin} при необходимости следует получить у изготовителя источника тепла.

5.6 Параметры для расчета

5.6.1 Общие положения

Для вычисления соответствующих значений давления и температуры следует определить шероховатость внутренней поверхности и термическое сопротивление соединительного элемента и вертикальной части конструкции для удаления дымового газа.

5.6.2 Средняя шероховатость *r*

Среднее значение шероховатости внутренней поверхности трубы следует найти в информации, предоставленной изготовителем. Средние значения шероховатостей внутренних поверхностей труб, изготовленных из широко используемых материалов, приведены в таблице В.4 (приложение В).

5.6.3 Термическое сопротивление $1/\Lambda$

Термическое сопротивление $1/\Lambda$ дымоходной системы следует найти в информации, предоставленной изготовителем.

Термическое сопротивление $1/\Lambda$ элементов конструкции для удаления дымовых газов с учетом влияния мостиков холода (например, местах их соединения) следует найти в информации, предоставленной изготовителем.

Примечание — Вычисления, включающие термическое сопротивление дымоходных 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 конструкций для удаления дымовых газов, изготовленных на заказ, вычисляют по формуле

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

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, $м^2 \cdot К/Вт$.

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 конструкций для удаления дымовых газов, 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 как максимальную температуру наружного воздуха, при которой будут использовать конструкцию для удаления дымовых газов. Температура наружного воздуха T_L для систем отопления обычно принимается следующим образом:

T_L = 288,15 K (t_L = 15 °C) — для вычисления минимального разрежения или максимального избыточного давления на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов;

T_L = 258,15 K (t_L = –15 °C) — для вычисления максимального разрежения или минимального избыточного давления на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов.

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

- для конструкций удаления дымовых газов без каналов проветривания:

T_{uo} = 258,15 K (t_{uo} = минус 15 °C) для конструкции для удаления дымовых газов с влажным режимом работы;

T_{uo} = 273,15 K (t_{uo} = 0 °C) для конструкции для удаления дымовых газов с сухим режимом работы;

T_{ub} = 288,15 K (t_{ub} = 15 °C);

T_{uh} = 293,15 K (t_{uh} = 20 °C);

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

T_{uu} = 273,15 K (t_{uu} = 0 °C);

- для конструкций для удаления дымовых газов с каналами проветривания, в которых направление движения воздуха по каналам совпадает с направлением движения дымовых газов:

T_{uo} = 258,15 K (t_{uo} = минус 15 °C) — для конструкций для удаления дымовых газов, работающих во влажных условиях, у которых высота в необогреваемых зонах внутри здания и на открытом воздухе превышает 5 м;

T_{uo} = 273,15 K (t_{uo} = 0 °C) — для конструкций для удаления дымовых газов, работающих в сухих условиях, и для дымовых труб, работающих во влажных условиях, у которых высота в необогреваемых зонах внутри здания и на открытом воздухе не превышает 5 м;

T_{ub} = 288,15 K (t_{ub} = 15 °C),
T_{uh} = 293,15 K (t_{uh} = 20 °C),

T_{ul} = 288,15 K (t_{ul} = 15 °C) — если высота в необогреваемых зонах внутри и снаружи здания не превышает 5 м;

$T_{ul} = T_{uo}$ ($t_{ul} = t_{uo}$) — если высота в необогреваемых зонах внутри здания и на открытом воздухе превышает 5 м;

T_{uu} = 288,15 K (t_{uu} = 15 °C) — если высота в необогреваемых зонах внутри здания и на открытом воздухе не превышает 5 м;

T_{uu} = 273,15 K (t_{uu} = 0 °C) — если высота в необогреваемых зонах внутри здания и на открытом воздухе превышает 5 м.

Могут быть использованы другие значения для T_{uo} на основании данных национальных стандартов. Части конструкции для удаления дымовых газов, 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:

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

где T_{uo} — температура окружающего воздуха в устье конструкции для удаления дымовых газов, К;

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

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

T_{ul} — температура окружающего воздуха за пределами здания, К;

T_{uu} — температура окружающей среды в необогреваемых зонах внутри здания, К;

A_{ub} — площадь наружной поверхности конструкции для удаления дымовых газов в отапливаемом помещении, м^2;

A_{uh} — площадь наружной поверхности конструкции для удаления дымовых газов в обогреваемых зонах, м^2;

A_{ul} — площадь наружной поверхности конструкции для удаления дымовых газов вне здания, м^2;

A_{uu} — площадь наружной поверхности конструкции для удаления дымовых газов в необогреваемых зонах внутри здания, м^2.

Примечания

1 Если наружная поверхность конструкции для удаления дымовых газов, расположенная вне здания и в необогреваемых зонах, при отсутствии вентиляции составляет не более 1/4 части от всей наружной поверхности конструкции для удаления дымовых газов, то температура окружающего воздуха T_u может быть принята равной 288,15 К (t_u = 15 °С).

2 Если высота конструкций для удаления дымовых газов с каналами проветривания, 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).

3 Если высота конструкций для удаления дымовых газов с каналами проветривания, 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, Па, определяют в зависимости от высоты над уровнем моря по формуле

$$p_L = 97000 \cdot e^{\frac{-g \cdot z}{R_L \cdot T_L}}, \quad (12)$$

где g — ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с^2;

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 $\sigma(H_2O)$ — 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

Плотность наружного воздуха ρ_L вычисляют по формуле

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

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 дымовых газов c_p следует вычислять в соответствии с уравнениями в таблицах В.1 и В.4 (приложение В).

5.7.6 Температура конденсации T_{sp}

Для газа и дизельного топлива и древесины, не подвергавшейся химической обработке, температуру конденсации дымовых газов T_{sp} устанавливают по точке росы для водяного пара T_p.

В этих случаях:

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

Точку росы водяных паров 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 угля и тяжелого мазута температура конденсации водяных паров из дымовых газов равна температуре конденсации кислоты T_{sp}.

В этих случаях:

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

Повышение точки росы из-за наличия в дымовых газах триоксида серы ΔT_{sp} можно рассчитать с помощью уравнения в таблице В.1.

Для точного определения температуры конденсации кислоты необходимо знать степень превращения диоксида серы в триоксид серы (коэффициент преобразования K_f). В качестве ориентира можно предположить, что объемная концентрация триоксида серы SO_3 составляет около 2 % от диоксида серы SO_2.

5.7.7 Поправочный коэффициент для неустановившегося температурного режима S_H

Поправочный коэффициент для неустановившегося температурного режима S_H при вычислении минимального разрежения или максимального избыточного давления должен быть равен 0,5.

Поправочный коэффициент для неустановившегося температурного режима S_H при вычислении максимального разрежения или минимального избыточного давления должен быть равен 1.

5.7.8 Аэродинамический коэффициент стабильности потока S_E

При вычислении минимального разрежения конструкции для удаления дымовых газов, работающей при отрицательном давлении, должен быть использован аэродинамический коэффициент стабильности потока S_E = 1,5. Для источников тепла и конструкций для удаления дымовых газов, оборудованных устройствами регулирования (например, промышленные объекты с постоянным мониторингом), а также для источников тепла с закрытой камерой сгорания, оборудованных горелкой с наддувом, следует использовать значение 1,2.

Для вычисления максимального избыточного давления конструкции для удаления дымовых газов аэродинамический коэффициент стабильности потока S_E должен быть равен минимальному значению 1,2.

Для вычисления максимального разрежения или минимального избыточного давления аэродинамический коэффициент стабильности потока S_E должен быть равен единице.

5.8 Определение значений температуры

5.8.1 Общие положения

Для проверки выполнения требований по давлению и температуре необходимо определить среднюю температуру дымовых газов и температуру дымовых газов на выходе из конструкции для удаления дымовых газов.

Среднюю температуру дымовых газов T_m, K, вычисляют по формуле

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

Температуру дымовых газов в устье конструкции для удаления дымовых газов T_o, K, вычисляют по формуле

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

Среднюю температуру дымовых газов в соединительном элементе T_{mV}, K, вычисляют по формуле

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

Температура дымовых газов на входе в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов T_e, K, вычисляют по формуле

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

где K — коэффициент охлаждения (см. 5.8.2);

K_V — коэффициент охлаждения соединительного элемента (см. 5.8.2);

T_u — температура окружающего воздуха (см. 5.7.1.3), K;

T_W — температура дымовых газов источника тепла, K.

5.8.2 Вычисление коэффициента охлаждения (K)

Коэффициент охлаждения K вычисляют по формуле

$$K = \frac{U \cdot k \cdot L}{\dot{m} \cdot c_p}, \quad (20)$$

где U — внутренний периметр дымовой трубы, м;

k — коэффициент теплопередачи (см. 5.8.3), Вт/(м^2 · K);

L — длина конструкции для удаления дымовых газов, м;

$\dot{m}$ — массовый поток дымовых газов (см. 5.5.2), кг/с;

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

Коэффициент охлаждения соединительного элемента K_V определяют в соответствии с его параметрами.

5.8.3 Коэффициент теплопередачи k_b

5.8.3.1 Общие положения

Коэффициент теплопередачи конструкции для удаления дымовых газов при температуре равновесия k_b, Вт/(м^2 · К), вычисляют по формуле

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

Коэффициент теплопередачи конструкции для удаления дымовых газов при отсутствии температурного равновесия k, Вт/(м^2 · К), вычисляют по формуле

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

где D_h — внутренний гидравлический диаметр, м;

D_{ha} — наружный гидравлический диаметр, м;

S_H — поправочный коэффициент для неустановившегося температурного режима (см. 5.7.7);

α_a — коэффициент теплоотдачи снаружи (см. 5.8.3.2), Вт/(м^2 · К);

α_i — коэффициент теплоотдачи внутри трубы (см. 5.8.3.2), Вт/(м^2 · К);

$\frac{1}{\Lambda}$ — термическое сопротивление (см. 5.6.3), м^2 · К/Вт.

5.8.3.2 Коэффициент теплоотдачи внутри трубы α_i

Коэффициент теплоотдачи в конструкции для удаления дымовых газов α_i, Вт/(м^2 · К), вычисляют по формуле

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

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 вычисляют в зависимости от средней температуры дымовых газов по таблицам В.1 и В.8 (приложение В).

Среднее по высоте конструкции для удаления дымовых газов число Нуссельта N_u вычисляют по формуле

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

где D_h — внутренний гидравлический диаметр, м;

L_{tot} — суммарная длина от входа дымовых газов в конструкцию для удаления дымовых газов до выхода из конструкции для удаления дымовых газов (L_{totV} — суммарная длина секций соединительного элемента от патрубка дымовых газов источника тепла до входа в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов);

Pr — число Прандтля;

Re — число Рейнольдса;

ψ — коэффициент гидравлического сопротивления вследствие трения для возмущенного потока (5.10.3.3);

ψ_{smooth} — коэффициент гидравлического сопротивления вследствие трения для невозмущенного потока (5.10.3.3 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 числу Рейнольдса *Re* = 2300.

Число Прандтля *Pr* вычисляют по формуле

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

Число Рейнольдса *Re* следует вычислять по формуле

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

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/м^2;

λ_A — коэффициент теплопроводности дымовых газов, Вт/(м · К);

ρ_m — средняя плотность дымовых газов (5.9), кг/м^3.

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 теплоотдачи внутри трубы α_i для конструкции для удаления дымовых газов, предназначенный для работы во влажных условиях, если теплота конденсации не учитывается.

5.8.3.3 Коэффициент теплоотдачи снаружи α_a

Коэффициент теплоотдачи снаружи α_a следует принимать равным 8 Вт/(м^2 · К) для соединительных элементов и конструкций для удаления дымовых газов, расположенных внутри здания, для соединительных элементов и конструкций для удаления дымовых газов, расположенных вне здания α_a = 23 Вт/(м^2 · К).

Для соединительных элементов и конструкций для удаления дымовых газов, расположенных частично вне здания, коэффициент теплоотдачи снаружи α_a следует интерполировать.

Если конструкция для удаления дымовых газов расположена снаружи и имеет внешнюю оболочку, в которой предусмотрен воздушный зазор толщиной не менее 1 см и не более 5 см, то коэффициент теплоотдачи снаружи α_a принимают равным 8 Вт/(м^2 · К).

Для конструкций удаления дымовых газов с каналами проветривания (включая конструкции для удаления дымовых газов, которые были санированы дополнительной внутренней трубой) α_a принимают равным 8 Вт/(м^2 · К).

Для конструкций удаления дымовых газов, в которых воздух в каналах проветривания не движется, и длина невентилируемой части, расположенной вне здания, составляет ≤ 3*Dh*, α_a принимают равным 8 Вт/(м^2 · К), в других случаях — 23 Вт/(м^2 · 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, кг/м^3, вычисляют по формуле

$$\rho_m = \frac{p_L}{R \cdot T_m}, \quad (27)$$

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. 5.8.1), К.

Для средней плотности дымовых газов ρ_{mV} в соединительном элементе следует использовать соответствующие значения для соединительного элемента.

5.9.2 Скорость дымовых газов w_m

Среднюю скорость дымовых газов w_m, м/с, вычисляют по формуле

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

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

A — внутреннее поперечное сечение конструкции удаления дымовых газов, м^2;

ρ_m — средняя плотность дымовых газов, кг/м^3.

Для средней скорости дымовых газов w_{mV} в соединительном элементе следует использовать соответствующие данные для соединительного элемента.

5.10 Определение давлений

5.10.1 Давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов

5.10.1.1 Разрежение на входе дымовых газов в конструкцию для удаления дымовых газов, работающих в режиме разрежения P_Z и P_{Zmax}

Минимальное P_Z и максимальное P_{Zmax} разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов, работающих в режиме разрежения, в основном зависит от массового потока и температуры дымовых газов, эффективной высоты конструкции для удаления дымовых газов, поперечного сечения и конструктивных характеристик (шероховатости и термического сопротивления) конструкции для удаления дымовых газов.

Минимальное P_Z и максимальное P_{Zmax} разрежение на входе, Па, дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов следует рассчитывать по формулам

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

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

где P_H — самотяга, Па;

P_R — сопротивление конструкции для удаления дымовых газов, Па;

P_L — ветровое давление, Па.

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

5.10.1.2 Избыточное давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов избыточного давления P_{ZO} и P_{ZOmin}.

Максимальное P_{ZO} и минимальное P_{ZOmin} избыточные давления на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов избыточного давления в основном зависят от массового потока и температуры дымовых газов, эффективной высоты конструкции для удаления дымовых газов, поперечного сечения и конструктивных характеристик (шероховатости и термического сопротивления) конструкции для удаления дымовых газов.

Максимальное P_{ZO} и минимальное P_{ZOmin} избыточные давления на входе, Па, дымовых газов в конструкцию для удаления дымовых газов рассчитывают, используя следующие формулы:

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

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

где P_R — сопротивление вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов, Па;

P_H — самотяга, Па;

P_L — ветровое давление, Па.

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

5.10.2 Самотяга P_H

Самотягу P_H вычисляют по формуле

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

где H — эффективная высота конструкции для удаления дымовых газов, м;

g — ускорение свободного падения; g = 9,81 м/с^2;

ρ_L — плотность наружного воздуха (см. 5.7.4), кг/м^2;

ρ_m — средняя плотность дымовых газов (см. 5.9.1), кг/м^3.

5.10.3 Сопротивление вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов P_R

5.10.3.1 Общие положения

Сопротивление вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов P_R определяют по следующим формулам:

$$P_R = S_E \cdot P_E + S_{EG} \cdot P_G, \tag{32}$$

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

где S_E — аэродинамический коэффициент стабильности потока (см. 5.7.8);

P_E — сопротивление вследствие трения и местные сопротивления в вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов, Па;

S_{EG} — аэродинамический коэффициент стабильности для перепада давлений вследствие изменения скорости;

P_G — разность давлений, вызванная изменением скорости дымовых газов в вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов, Па;

ψ — коэффициент трения трубы;

L — длина вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов, м;

D_h — внутренний гидравлический диаметр, м;

$\sum_n \zeta_n$ — сумма отдельных местных сопротивлений;

ρ_m — средняя плотность дымовых газов (см. 5.9.1), кг/м^3;

w_m — средняя скорость дымовых газов (см. 5.9.2), м/с.

Для $P_G \geq 0$ $S_{EG} = S_E$;

для $P_G < 0$ $S_{EG} = 1{,}0$.

5.10.3.2 Изменение давления вследствие изменения скорости дымовых газов в вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов P_G

Изменение давления вследствие изменения скорости дымовых газов в вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов P_G, Па, вычисляют по следующей формуле:

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

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/м^3;

ρ_2 — плотность дымовых газов после изменения скорости, кг/м^3.

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

5.10.3.3 Коэффициент трения трубы ψ

Коэффициент трения трубы ψ определяют для различной шероховатости в соответствии со следующим уравнением:

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

где ψ — коэффициент сопротивления вследствие трения в дымовом канале;

r — среднее значение шероховатости внутренней поверхности, м;

Re — число Рейнольдса (см. 5.8.2);

D_h — гидравлический диаметр, м.

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

Значения средней шероховатости должен предоставить производитель. 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 местного гидравлического сопротивления ζ в результате изменений направления и/или поперечного сечения и/или изменений массового расхода дымовых газов

Значения коэффициентов местного гидравлического сопротивления из-за изменения направления движения и/или поперечного сечения и/или изменений массового расхода дымовых газов 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 конструкции для удаления дымовых газов 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 устье конструкции для удаления дымовых газов находится под воздействием неблагоприятного давления ветра. Считается, что устье конструкции для удаления дымовых газов находится в зоне неблагоприятного давления, если оно расположено выше конька менее чем на 0,4 м и расстояние по горизонтали от устья конструкции для удаления дымовых газов до пересечения с крышей или до выступающей над крышей части конька составляет менее 2,3 м, а также, если устье конструкции для удаления дымовых газов расположено следующим образом:

- на крыше, угол уклона которой более 40°;
- на крыше, угол уклона которой более 25°, если отверстие для подачи воздуха на горение и устье конструкции для удаления дымовых газов расположены по разные стороны от конька, а расстояние по горизонтали от верхней точки до конька более 1 м.

Примечание — Конструкции для удаления дымовых газов подвергаются негативному воздействию расположенных рядом препятствий, например, зданий, деревьев, гор и возвышенностей. Устье конструкции для удаления дымовых газов, находящееся 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 конструкция для удаления дымовых газов оборудована оголовком, для которого установлена аэродинамическая характеристика. Во всех других случаях P_L следует принимать равным 0 Па.

5.11 Минимально необходимое и максимально возможное разрежение (P_{Ze} и P_{Zemax}) и максимально допустимое и минимально необходимое избыточное давление (P_{ZOe} и P_{ZOemin}) на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов

5.11.1 Общие положения

Минимально необходимое разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов под разрежением P_{Ze}, Па, и максимально возможное разрежение P_{Zemax}, Па, вычисляют по формулам:

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

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

где P_W — необходимое давление для преодоления сопротивления источника тепла, Па;

P_{Wmax} — максимально допустимое разрежение источника тепла, Па;

P_{FV} — необходимое давление для преодоления сопротивления соединительного элемента, Па;

P_B — необходимое давление для преодоления сопротивления подмешивания приточного воздуха к массовому потоку дымовых газов, Па.

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

Максимальное и минимальное избыточные давления на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов избыточного давления (P_{ZOe} и P_{ZOemin}) определяют по формулам:

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

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

где P_{WO} — максимальный перепад давления на выходе из источника тепла, Па;

P_B — необходимое давление для преодоления сопротивления подмешивания приточного воздуха к массовому потоку дымовых газов, Па;

P_{FV} — необходимое давление для преодоления сопротивления соединительного элемента, Па;

P_{WOmin} — минимальное избыточное давление на выходе из источника тепла, Па.

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

5.11.2 Минимально необходимое давление для преодоления сопротивления и максимальное давление разрежения для источника тепла (P_W и P_{Wmax}), а также максимально необходимое давление для преодоления сопротивления и минимальный перепад давления на источнике тепла (P_{WO} и P_{WOmin})

Минимально необходимое давление для преодоления сопротивления и максимальное давление разрежения для источника тепла (P_W и P_{Wmax}), а также максимально необходимое давление для преодоления сопротивления и минимальный перепад давления на источнике тепла (P_{WO} и P_{WOmin}) должны соответствовать 5.5.4, 5.5.5, 5.5.6 или 5.5.7.

5.11.3 Необходимое давление для преодоления сопротивления соединительного элемента P_{FV}

5.11.3.1 Общие положения

Необходимое давление для преодоления сопротивления соединительного элемента P_{FV}, Па, вычисляют по формуле

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

где P_{RV} — сопротивление соединительного элемента, Па;

P_{HV} — самотяга в соединительном элементе, Па.

Если соединительный элемент состоит из нескольких различных элементов, конструктивно отличающихся друг от друга, вычисление следует выполнять для каждого элемента. Сопротивление и теоретическое разрежение отдельных элементов следует суммировать.

5.11.3.2 Самотяга соединительного элемента P_{HV}

Самотягу соединительного элемента P_{HV}, Па, вычисляют по формуле

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

где H_V — эффективная высота соединительного элемента, м;

g — ускорение свободного падения; g = 9,81 м/с^2;

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

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

Если вход дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов расположен ниже, чем патрубок отвода дымовых газов от источника тепла, то P_{HV} становится отрицательной.

5.11.3.3 Сопротивление соединительного элемента P_{RV}

Сопротивление соединительного элемента P_{RV}, Па, следует вычислять по формулам:

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

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

где D_{hV} — внутренний гидравлический диаметр соединительного элемента, м;

L_V — длина соединительного элемента, м;

P_{EV} — сопротивление вследствие трения и сопротивления формы соединительного элемента, Па;

P_{GV} — перепад давления, вызванный изменением скорости дымовых газов в соединительном элементе, Па;

S_E — аэродинамический коэффициент стабильности потока;

S_{EGV} — аэродинамический коэффициент стабильности потока для перепада давления вследствие изменения скорости в соединительном элементе;

w_{mV} — средняя скорость дымовых газов в соединительном элементе, м/с;

ρ_{mV} — средняя плотность дымовых газов в соединительного элементе, кг/м^3;

Ψ_V — коэффициент трения в дымовом канале соединительного элемента (см. 5.10.3.3);

$\sum_n \zeta_{V,n}$ — сумма коэффициентов сопротивления вследствие изменений направления и поперечного сечения соединительного элемента, м.

Для $P_{GV} \geq 0$, $S_{EGV} = S_E$;

для $P_{GV} < 0$, $S_{EGV} = 1{,}0$.

Среднюю скорость w_{mV} дымовых газов в соединительном элементе следует вычислять по формуле (28), используя соответствующие значения для соединительного элемента.

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

Примечание — Сумма отдельных коэффициентов сопротивления $\sum_n \zeta_{V,n}$ для соединительного элементаа зависит от изменения поперечного сечения и направления между патрубком отвода дымовых газов от источника тепла и конструкции для удаления дымовых газов. Значения ζ приведены в таблице В.8 для типичных изменений поперечного сечения и направления.

Перепад давления, вызванный изменением скорости дымовых газов в соединительном элементе P_{GV}, следует вычислять по формуле (34) с соответствующими значениями для соединительного элемента.

5.11.4 Необходимое давление для преодоления сопротивления притока воздуха P_B

Необходимое давление для преодоления сопротивления 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, Па, следует вычислять по формуле

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

где D_{hB} — внутренний гидравлический диаметр вентиляционных отверстий или приточного воздуховода, м;

L_B — длина вентиляционных отверстий или приточного воздуховода, м;

S_{EB} — аэродинамический 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/м^3;

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, м/с, вычисляют по формуле

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

где $\dot{m}_B$ — массовый расход воздуха для горения, кг/с;

A_B — поперечное сечение приточного воздуховода, м^2;

ρ_B — плотность приточного воздуха для горения, кг/с.

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

5.12 Расчет температуры внутренней стенки устья конструкции для удаления дымовых газов (T_{iob})

Температуру внутренней стенки устья конструкции для удаления дымовых газов, T_{iob}, К, при температуре равновесия вычисляют по формуле:

$$T_{iob} = T_{ob} - \frac{k_{ob}}{\alpha_i}\left(T_{ob} - T_{uo}\right), \tag{44}$$

где k_{ob} — коэффициент теплопередачи устья конструкции для удаления дымовых газов при температуре равновесия, Вт/(м^2·К);

T_{ob} — температура дымовых газов устья конструкции для удаления дымовых газов при температуре равновесия, К;

T_{uo} — температура окружающего воздуха устья конструкции для удаления дымовых газов, К;

α_i — коэффициент теплоотдачи внутри трубы, Вт/(м^2 · К).

Коэффициент теплопередачи k_{ob}, Вт/(м^2 · К) устья конструкции для удаления дымовых газов при температуре равновесия следует определять по формуле

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

где D_h — внутренний гидравлический диаметр, м;

D_{hao} — наружный гидравлический диаметр устья конструкции для удаления дымовых газов, м;

α_i — коэффициент теплоотдачи устья конструкции для удаления дымовых газов, Вт/(м^2 · К);

α_{ao} — коэффициент теплоотдачи со стороны наружной поверхности устья конструкции для удаления дымовых газов, Вт/(м^2 · К);

$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)$ — термическое сопротивление, м^2 · К/Вт;

$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_o$ — дополнительное расчетное термическое сопротивление для возможной изоляции в устье конструкции для удаления дымовых газов с учетом внутреннего гидравлического диаметра, м^2 · К/Вт.

Для неизолированных частей конструкции для удаления дымовых газов, длина которых снаружи не превышает 3 D_h, не требуется выполнения отдельного расчета температуры внутренней стенки с пониженным термическим сопротивлением.

Если часть конструкции для удаления дымовых газов, 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 вычисляют по формуле

$$T_{irb} = T_{rb} - \frac{k_{rb}}{\alpha_i}\left(T_{rb} - T_{ur}\right), \tag{46}$$

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

k_{rb} — коэффициент теплопередачи конструкции для удаления дымовых газов при температуре равновесия, Вт/(м^2·К);

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

Дополнительное термическое сопротивление устья конструкции для удаления дымовых газов $(1/\Lambda)_o$ следует вычислять в соответствии с 5.6.3 для дополнительных слоев тепловой изоляции со всех сторон. Для оболочек с каналами проветривания для всех слоев, расположенных с наружной стороны вентилируемых участков принимают $(1/\Lambda)_o = 0$.

В случае вентилируемой оболочки для всех слоев, расположенных с наружной стороны вентилируемой прослойки, обычно применяют $(1/\Lambda)_o = 0$.

Примечание — Значение $(1/\Lambda)_o = 0{,}1$ (м$^2 \cdot$ К)/Вт допускается использовать без доказательств, если отрезок конструкции для удаления дымовых газов, расположенный над крышей, заключен в кирпичную кладку (коэффициент теплопроводности $\lambda \le 0{,}85$ Вт/(м $\cdot$ К)), минимальная толщина которой 11,5 см, или имеет со всех сторон менее 3 см дополнительной тепловой изоляции [коэффициент теплопроводности $\lambda \le 0{,}1$ Вт/(м $\cdot$ К)].

6 Дополнительный воздух в конструкциях для удаления дымовых газов, работающих в режиме разрежения

6.1 Общие положения

Если условие по температуре, изложенное в 5.3, не выполнено, и если температуры внутренней поверхности устья не могут быть рассчитаны по формуле (44) или (46) без учета подмешивания дополнительного воздуха в конструкции для удаления дымовых газов, то допускается выполнить условие по температуре посредством подвода дополнительного воздуха. В этом случае необходимо провести дополнительные вычисления, чтобы установить, что условие по температуре в конструкции для удаления дымовых газов может быть выполнено за счет подмешивания дополнительного воздуха.

Если условие по давлению согласно 5.2 для максимального разрежения (2a) при расчете давлений согласно уравнениям (29a) и (36a) без подачи дополнительного воздуха в конструкцию для удаления дымовых газов не выполняется, то это условие может быть выполнено в результате подачи дополнительного воздуха. В этом случае должны быть выполнены дальнейшие расчеты, чтобы подтвердить, что условие по давлению при максимальном разрежении может быть выполнено благодаря подаче дополнительного воздуха в конструкцию для удаления дымовых газов.

Предполагается, что для минимального разрежения условия по давлению (1 и 2) согласно 5.2 выполняются без учета подачи дополнительного воздуха.

6.2 Методика расчета

Расчет следует выполнять по отрезкам, начиная от выходного патрубка дымовых газов источника тепла до места установки устройства для подачи дополнительного воздуха и далее до устья конструкции для удаления дымовых газов.

Для учета дополнительного воздуха следует сложить массовый расход дополнительного воздуха и массовый расход дымовых газов. По температуре и составу дымовых газов до перемешивания с дополнительным воздухом и по температуре и составу дополнительного воздуха следует рассчитать температуру и состав газовоздушной смеси после устройства подачи дополнительного воздуха. Для дальнейших расчетов используют значения (c_p, R, η_A, T_p, λ_A) полученной смеси из дымовых газов и дополнительного воздуха.

Расчет с использованием предполагаемого потока дополнительного воздуха следует многократно повторять до тех пор, пока не будут выполнены функциональные условия или до тех пор, пока полностью не будет израсходован избыток разрежения ($P_Z = P_{Ze}$ или $P_{Zmax} = P_{Zemax}$).

Для источников тепла на газовом топливе, оборудованных стабилизаторами потока, учитывают только дополнительный воздух, подмешиваемый к заданному массовому расходу дымовых газов.

6.3 Основные параметры для расчета дополнительного воздуха

6.3.1 Общие положения

Температуру дополнительного 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 дополнительного воздуха для удовлетворения требования по температуре следует использовать значения температуры окружающего воздуха в соответствии с 5.7.1.3.

6.3.2 Расчет смеси

Массовый расход дымовых газов после подмешивания дополнительного воздуха $\dot{m}_M$, кг/с, вычисляют по формуле

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

где $\dot{m}_{NL}$ — массовый расход дополнительного воздуха, кг/с;

$\dot{m}$ — массовый расход дымовых газов перед подмешиванием дополнительного воздуха, кг/с.

Температуру дымовых газов после подмешивания дополнительного воздуха T_M, *K*, вычисляют по формуле

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

где c_{pA} — удельная теплоемкость дымовых газов перед подмешиванием дополнительного воздуха, Дж/(кг · К);

T_A — температура дымовых газов перед подмешиванием дополнительного воздуха, К;

c_{pNL} — удельная теплоемкость дополнительного воздуха, Дж/(кг · К);

T_{NL} — температура дополнительного воздуха, К.

Объемную концентрацию CO_2 в дымовых газах после подмешивания дополнительного воздуха, %, вычисляют по формуле

$$\sigma(CO_2)_M = \frac{\dot{m} \cdot R \cdot [100 - \sigma(H_2O)] \cdot \sigma(CO_2)}{\dot{m} \cdot R \cdot [100 - \sigma(H_2O)] + \dot{m}_{NL} \cdot R_L \cdot [100 - \sigma(H_2O)_{NL}]}, \quad (49)$$

где R — газовая постоянная дымовых газов перед подмешиванием дополнительного воздуха, Дж/(кг · К);

$\sigma(H_2O)$ — объемная концентрация H_2O (водяного пара) в дымовых газах перед подмешиванием дополнительного воздуха, %;

$\sigma(CO_2)$ — объемная концентрация CO_2 в дымовых газах перед подмешиванием дополнительного воздуха, %;

R_L — газовая постоянная воздуха, Дж/(кг · К);

$\sigma(H_2O)_{NL}$ — объемная концентрация H_2O (водяного пара) в дополнительном воздухе, %.

Объемную концентрацию H_2O (водяного пара) в дымовых газах после подмешивания дополнительного воздуха, %, вычисляют по формуле

$$\sigma(HO_2)_M = \frac{\dot{m} \cdot R \cdot \sigma(H_2O) + \dot{m}_{NL} \cdot R_L \cdot \sigma(H_2O)_{NL}}{\dot{m} \cdot R + \dot{m}_{NL} \cdot R_L}. \quad (50)$$

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

6.4 Давление

6.4.1 Необходимое давление для преодоления сопротивления притоку воздуха с учетом дополнительного воздуха P_{BNL}

Для помещений без вентиляционных отверстий сопротивление притоку воздуха P_{BNL}, Па, с учетом дополнительного воздуха при номинальной тепловой мощности вычисляют по формуле

$$P_{BNL} = P_B + \left(1 + \frac{\dot{m}_{NL}}{\dot{m}_B}\right)^{1,5}, \quad (51)$$

где P_B — сопротивление притоку воздуха без учета дополнительного воздуха (см. 5.11.4), Па;

$\dot{m}_{NL}$ — массовый расход дополнительного воздуха, кг/с;

$\dot{m}_B$ — массовый расход воздуха для горения, кг/с.

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

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

где S_{EB} — аэродинамический коэффициент стабильности потока для подвода воздуха (см. 5.11.4);

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

L_B — длина вентиляционных отверстий или канала подачи воздуха на горение (см. 5.11.4), м;

D_{hB} — внутренний гидравлический диаметр вентиляционных отверстий или канала подачи воздуха на горение (см. 5.11.4), м;

$\sum_n \zeta_{B,n}$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений вентиляционных каналов или канала подачи воздуха на горение (см. 5.11.4);

ρ_B — плотность воздуха, подаваемого на горение, и дополнительного воздуха (см. 5.11.4), кг/м^3;

w_{BNL} — скорость в вентиляционных отверстиях или канале подачи воздуха на горение с учетом дополнительного воздуха, м/с.

Коэффициент трения вентиляционных отверстий или канала подачи воздуха на горение ψ_{BNL}, с учетом дополнительного воздуха, следует определять в соответствии с 5.10.3.3.

Скорость в вентиляционных отверстиях или в канале подачи воздуха на горение, с учетом дополнительного воздуха, w_{BNL} , м/с, следует вычислять по формуле

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

где $\dot{m}_B$ — массовый расход воздуха на горение, кг/с;

$\dot{m}_{NL}$ — массовый расход дополнительного воздуха, кг/с;

A_B — поперечное сечение вентиляционных каналов или канала подачи воздуха на горение (см. 5.11.4), м^2;

ρ_B — плотность воздуха, подаваемого на горение, и дополнительного воздуха (см. 5.11.4), кг/м^3.

6.4.2 Необходимое давление для преодоления сопротивления устройств дополнительного воздуха P_{NL}

Требуемое разрежение по воздуху для регулятора тяги P_{NL}, Па, вычисляют по формуле

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

где α_0 — значение на входе регулятора тяги;

α_1 — рабочий параметр устройства регулирования дополнительного воздуха (регулятор тяги) [см. таблицу В.7 (приложение В)], Па/(кг · с);

α_2 — рабочий параметр устройства регулирования дополнительного воздуха (регулятор тяги) [см. таблицу В.7 (приложение В)], Па/(кг · с);

$\dot{m}_{NL}$ — массовый расход дополнительного воздуха, кг/с;

S_E — аэродинамический коэффициент стабильности потока;

ζ_{2-3} — коэффициент местного сопротивления входного отверстия для подачи дополнительного воздуха [см. таблицу В.7, № 5 (приложение В)];

ρ_M — плотность смеси дымовых газов после подмешивания дополнительного воздуха, кг/м^3;

w_M — скорость смеси дымовых газов после подмешивания дополнительного воздуха, м/с.

Требуемое разрежение по воздуху для стабилизатора потока P_{NL}, Па, вычисляют по формуле

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

где P_W — минимальная тяга отопительного устройства, Па;

$\dot{m}$ — массовый расход дымовых газов, кг/с.

Значение на входе регулятора тяги α_0 следует получить из суммы минимального или максимального разрежения источника тепла (P_W или P_{Wmax}) и необходимого давления в дымовом тракте до устройства подачи дополнительного воздуха.

Для проверки условий по температуре действительны следующие соотношения

- при $P_W + P_{FV1} < 10$ $\alpha_0 = 10;$ (56)

- при $P_W + P_{FV1} \geq 10$ $\alpha_0 = P_W + P_{FV1},$ (57)

где P_W — минимальное разрежение источника тепла, Па;

P_{FV1} — сопротивление части соединительного элемента, расположенной перед регулятором разрежения, Па.

Для проверки условий по давлению для максимального разрежения действительно следующее соотношение

$$\alpha_0 = P_{Wmax} + P_{FV1}, \quad (57а)$$

где P_{Wmax} — максимальное разрежение источника тепла, Па.

6.4.3 Необходимое давление для преодоления сопротивления части соединительного элемента, расположенного перед устройством подвода дополнительного воздуха, P_{FV1}

Необходимое давление для преодоления сопротивления части соединительного элемента, расположенного перед регулятором разрежения, P_{FV1} следует определять в соответствии с 5.11.2.

Если устройство подачи дополнительного воздуха расположено в вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов, то отрезок конструкции для удаления дымовых газов до устройства подачи дополнительного воздуха можно рассматривать как часть соединительного элемента. Для стабилизатора потока должно действовать равенство $P_{FV1} = 0$.

6.4.4 Условие по давлению при наличии дополнительного воздуха

Для каждого значения массового расхода дополнительного воздуха необходимо определить минимально необходимое разрежение или максимально возможное разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов, P_{Ze} или P_{Zemax}, и сравнивать ее с разрежением P_Z или P_{Zmax} в этой точке.

Для контроля выполнения условий по температуре следует выполнить равенство

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

где P_H — самотяга, Па;

P_R — сопротивление вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов, Па;

P_L — ветровое давление, Па;

P_{BNL} — необходимое разрежение приточного воздуха при подаче дополнительного воздуха, Па;

P_{NL} — требуемое разрежение в устройстве подачи дополнительного воздуха или стабилизатора потока, Па;

P_{FV2} — сопротивление части соединительного элемента, расположенной после регулятора разрежения или после прерывателя тяги, Па.

Для того, чтобы условия по давлению для максимального разрежения были удовлетворены, должно быть выполнено следующее равенство

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

Примечание — Значения P_H и P_R в формулах (58) и (58а) могут отличаться друг от друга из-за различия условий.

Для устройства подачи дополнительного воздуха, расположенного в конструкции для удаления дымовых газов выше входа дымовых газов, необходимо проверить условие по давлению после устройства подачи дополнительного воздуха.

6.5 Условие по температуре с учетом дополнительного воздуха

Условие по температуре в устье конструкции для удаления дымовых газов должно быть проверено в соответствии с 5.8 и 5.12 с использованием показателей смеси дымовых газов и дополнительного воздуха.

7 Методика расчета системы «воздух—дымовые газы» (LAS)

7.1 Общие принципы

Вычисление внутренних размеров (поперечного сечения) конструкции для удаления дымовых газов, работающих под разрежением, основано на следующих четырех критериях:

- минимальное разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов должно быть больше или равно минимально необходимому разрежению на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов;
- минимальное разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов должно быть больше или равно сопротивлению на выходе из шахты для воздуха;
- максимальное разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов должно быть меньше или равно максимально допустимому разрежению на входе дымовых газов в конструкцию для удаления дымовых газов;
- температура внутренней поверхности устья конструкции для удаления дымовых газов должна быть больше или равна предельно допустимой температуре.

Вычисление внутренних размеров (поперечного сечения) конструкции для удаления дымовых газов с избыточным давлением основано на следующих условиях:

- максимальное избыточное давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов должно быть меньше или равно максимально допустимому избыточному давлению на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов;
- максимальное избыточное давление в соединительном элементе и в вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов не должно превышать разность между избыточным давлением, на которое они рассчитаны, и давлением окружающего воздуха, подаваемого на горение;
- минимальное избыточное давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов должно быть больше или равно минимально допустимого избыточного давления на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов;
- температура внутренней поверхности устья конструкции для удаления дымовых газов должна быть больше или равна предельно допустимой температуре.

Примечание — Условия по давлению для максимального разрежения или минимального избыточного давления необходимы только в том случае, если установлен предел по максимальному разрежению для источника тепла, работающего под разрежением, или минимальное избыточное давление для источника тепла, работающего при избыточном давлении.

Для подтверждения указанных условий используют два набора внешних условий:

- вычисление минимального разрежения и максимального избыточного давления выполняют для условий, когда тепловая нагрузка на конструкцию для удаления дымовых газов минимальна (т. е. высокая наружная температура);
- вычисление максимального разрежения и минимального избыточного давления, а также температуры внутренней поверхности выполняют для условий, когда температура внутри конструкции для удаления дымовых газов минимальна (т. е. низкая наружная температура).

При расчете системы «воздух—дымовые газы» (LAS), состоящей из конструкции для удаления дымовых газов и шахты подачи воздуха, она должна быть разделена на N_{seg} отрезков равной длины, при этом максимальная длина отрезка должна составлять 0,5 м.

Если термическое сопротивление между конструкцией для удаления дымовых газов (шахтой дымовых газов) и шахтой воздуха превышает 0,65 м^2 · К/Вт (N_{seg} = 1), то деление на отрезки не требуется.

Трубу для удаления дымовых газов соединительного элемента и соединительный воздуховод следует разделить на $N_{seg}V$ отрезков равной длины, при этом максимальная длина отрезка должна составлять 0,5 м. Если термическое сопротивление в соединительном элементе между трубой удаления дымовых газов и соединительным воздуховодом превышает 0,65 м^2 · К/Вт (N_{seg}V = 1), то деление на отрезки не требуется.

7.2 Требования по давлению

Соотношения (1), (2а) и (59) для конструкции для удаления дымовых газов под разрежением и соотношения (3), (5а), (60) и (61) для конструкции для удаления дымовых газов избыточного давления должны выполняться для всех соответствующих рабочих условий.

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

$$P_{ZO} \le P_{Zexcess} - (P_{RB} + P_{HB}), \quad (60)$$

$$P_{ZO} + P_{FV} \le P_{ZVexcess} - P_B, \quad (61)$$

где P_Z — разрежение на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов, Па;

P_{RB} — сопротивление шахты подачи воздуха, Па;

P_{HB} — самотяга в шахте воздуха, Па;

P_{ZO} — избыточное давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов, Па;

$P_{Zexcess}$ — максимальное расчетное давление конструкции для удаления дымовых газов, Па.

P_{FV} — сопротивление соединительного элемента, Па;

$P_{ZVexcess}$ — максимальное расчетное давление соединительного элемента, Па;

Сопротивление воздушного тракта P_B, Па, вычисляют с использованием следующего уравнения:

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

где P_{HB} — самотяга шахты подачи воздуха, Па;

P_{RB} — сопротивление шахты подачи воздуха, Па;

P_{RBV} — сопротивление соединительного воздуховода, Па;

P_{HBV} — самотяга соединительного воздуховода, Па.

7.3 Условия 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 источника тепла в соответствии с 5.5.

Параметры, указанные в 7.6, должны быть получены для конструкции для удаления дымовых газов, соединительного элемента, шахты воздуха и соединительного воздуховода. Для новых конструкций для удаления дымовых газов следует использовать предварительно рассчитанное значение размера дымового канала.

В 7.7—7.11 представлены вычисления, необходимые для завершения теплотехнического и аэродинамического расчетов конструкции для удаления дымовых газов. 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 условий по давлению. Методику, представленную в 7.12, следует использовать для контроля выполнения условий по температуре.

Контроль выполнения условий по давлению и температуре следует проводить дважды:

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

7.5 Параметры дымовых газов источника тепла

Параметры дымовых газов источника тепла следует вычислять в соответствии с 5.5.

7.6 Параметры для расчета

Параметры следует вычислять в соответствии с 5.6.

Средние значения шероховатости шахты воздуха r_B и соединительного воздуховода r_{BV} должен предоставить изготовитель изделия. Средние значения шероховатости обычно используемых материалов приведены в таблице В.4 (приложение В).

Термическое сопротивление шахты воздуха $(1/\Lambda)_B$ и соединительного воздуховода $(1/\Lambda)_{BV}$ допускается определять в соответствии с 5.6.3, как для дымовых труб.

В формуле (10) D_h — это внутренний гидравлический диаметр шахты воздуха D_{hiB} или соединительного воздуховода D_{hiBV}.

7.7 Основные вычисляемые значения

7.7.1 Температура воздуха

7.7.1.1 Общие положения

Для конструкций для удаления дымовых газов, 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 К (t_L = 15 °С) — для вычисления минимального разрежения или максимального избыточного давления на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов;

T_L = 258,15 К (t_L = –15 °С) — для вычисления максимального разрежения или минимального избыточного давления на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов.

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

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

T_{ub} = 288,15 К (t_{ub} = 15 °С),

T_{uh} = 293,15 К (t_{uh} = 20 °С),

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

T_{uu} = 273,15 К (t_{uu} = 0 °С),

где T_{uo} — температура окружающего воздуха в устье конструкции для удаления дымовых газов, К;

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

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

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

T_{uu} — температура окружающего воздуха для неотапливаемых помещений внутри здания, К.

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 Не концентрические (расположенные рядом) шахты

Если термическое сопротивление между шахтой дымовых газов и шахтой воздуха равно или больше 0,65 м^2 · К/Вт, температуру дымовых газов в случае раздельных каналов следует рассчитывать в соответствии с разделом 5. Температуру воздуха на горение внутри воздушной шахты следует принимать равной температуре наружного воздуха.

Если термическое сопротивление между шахтой дымовых газов и шахтой воздуха менее 0,65 м^2 · К/Вт, равно или превышает термическое сопротивление стен вне шахты, температуру дымовых газов в отдельных шахтах следует рассчитывать в соответствии с разделом 5.

Средние температуры воздуха на горение в воздушной шахте T_{mB} следует рассчитывать с использованием следующего уравнения

$$T_{mB} = \frac{1}{\frac{0,7}{T_L} + \frac{0,3}{T_m}}, \quad (63)$$

где T_L — температура наружного воздуха, К;

T_m — средняя температура дымовых газов, К.

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

7.8.2 Концентрические шахты для вычисления на основе поправочного коэффициента на тепловое излучение

7.8.2.1 Общие положения

В случае концентрических шахт для вычисления температуры следует использовать те же показатели, что и для выполнения условий по давлению.

Для вычисления значений температуры в концентрической шахте необходимо использовать метод итерации. Рекомендуется начинать вычисление от первого участка соединительного элемента $j = 1$, используя при этом предварительно рассчитанное значение температуры воздуха на горение на выходе из концентрического соединительного элемента $T_{oBV,1}$. Затем путем итераций, используя уравнение из 7.8.2, находят такое значение $T_{oBV,1}$, при котором выполняется следующее условие

$$|T_{eB,N_{seg}} - T_L| \le 1, \tag{64}$$

где $T_{oBV,1}$ — температура воздуха для горения на выходе из отрезка 1 соединительного элемента, К;

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

T_L — температура наружного воздуха, К;

N_{seg} — количество отрезков конструкции для удаления дымовых газов, используемое в вычислении.

7.8.2.2 Температура приточного воздуха и дымовых газов в соединительных элементах

Если термическое сопротивление между соединительным элементом конструкции для удаления дымовых газов и соединительным элементом воздуховода превышает 0,65 м^2 · К/Вт, значения температуры дымового газа и приточного воздуха для соединительных элементов следует рассчитывать в соответствии с разделом 5. Затем необходимо предварительно определить температуру «воздуха для горения» $T_{eBV,N_{segV}}$ в начале участка соединительного элемента $j = N_{segV}$, при этом температура $T_{oBV,1}$ в конце участка соединительного элемента $j = 1$ (см. 7.8.2.1) не должны использоваться.

В других случаях определение температур дымовых газов и воздуха на горение в соединительном элементе следует выполнять следующим образом:

Температура дымовых газов $T_{eV,1}$, К на входе в соединительный элемент, т. е. в начале первого отрезка соединительного элемента $j = 1$ составляет

$$T_{eV,1} = T_W, \tag{65}$$

где T_W — температура дымовых газов на выходе из источника тепла, К.

Температура дымовых газов $T_{eV,j}$, К в начале отрезков $j > 1$ соединительного элемента составит

$$T_{eV,j} = T_{oV,\,j-1}, \tag{66}$$

где $T_{oV,j}$ — температура дымовых газов в конце отрезка j соединительного элемента, К.

Температуру воздуха для горения в конце отрезка $j = T_{oB,1}$ соединительного элемента следует пересчитать (см. 7.8.2.1).

Примечание — В дополнение к контролю требований по температуре конструкции для удаления дымовых газов можно также контролировать температуру приточного воздуха $T_{oBV,1}$ в конце отрезка $j = 1$ соединительного приточного воздуховода, если изготовитель предоставит данные по максимальной температуре воздуха на входе в источник тепла.

Температура приточного воздуха $T_{oB,j}$ K в конце отрезков $j > 1$ соединительного элемента составит

$$T_{oB,j} = T_{eB,j-1}, \tag{67}$$

где $T_{eB,j-1}$ — температура воздуха для горения в начале отрезка j соединительного элемента, К.

Температуру дымовых газов $T_{oV,j}$ в конце отрезка j коаксиального соединительного элемента следует вычислять, используя следующее уравнение

$$T_{oV,j} = \frac{\left(2 - K_{V,j}\right)\cdot\left(2 - K_{BV,j}\right)\cdot T_{eV,j} - 2\cdot K_{V,j}\cdot\left(E_{V,j}\cdot T_{eV,j} - 2\cdot T_{oBV,j} + K_{BV,j}\cdot T_{uV,j}\right)}{\left(2 + K_{V,j}\right)\cdot\left(2 - K_{BV,j}\right) - 2\cdot K_{V,j}\cdot E_{V,j}}, \tag{68}$$

с учетом, что

$$E_{V,j} = \frac{\dot{m}\cdot c_{pV,j}}{\dot{m}_B\cdot c_{pBV,j}}, \tag{69}$$

где $K_{V,j}$ — коэффициент охлаждения отрезка j соединительного элемента по газу;
$K_{BV,j}$ — коэффициент охлаждения отрезка j соединительного элемента по воздуху;
$T_{eV,j}$ — температура дымовых газов в начале отрезка j соединительного элемента, К;
$E_{V,j}$ — отношение тепловых потоков дымовых газов и воздуха, подаваемого на горения, в отрезке j соединительного элемента;
$T_{oBV,j}$ — температура воздуха для горения в конце отрезка j соединительного элемента, К;
$T_{uV,j}$ — температура окружающего воздуха в отрезке j соединительного элемента, К;
$\dot{m}$ — массовый расход дымовых газов, кг/с;
$c_{pV,j}$ — удельная теплоемкость дымовых газов в отрезке j соединительного элемента, Дж/(кг · К);
$\dot{m}_B$ — массовый расход воздуха для горения, кг/с;
$c_{pBV,j}$ — удельная теплоемкость воздуха для горения в отрезке j соединительного элемента, Дж/(кг · К).

Температуру воздуха для горения в начале отрезка j коаксиального соединительного элемента $T_{eBV,j}$ вычисляют, используя следующее уравнение

$$T_{eBV,j} = T_{eV,j} + T_{oV,j} - T_{oBV,j} - \frac{2}{K_{V,j}}\left(T_{eV,j} - T_{oV,j}\right), \quad (70)$$

где $T_{eV,j}$ — температура дымовых газов в начале отрезка j соединительного элемента, К;
$T_{oV,j}$ — температура дымовых газов в конце отрезка j соединительного элемента, К;
$T_{oBV,j}$ — температура воздуха для горения в конце участка j соединительного элемента, К;
$K_{V,j}$ — коэффициент охлаждения дымового канала отрезка j соединительного элемента.

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

Температуру дымовых газов, усредненную по длине отрезка j коаксиального присоединительного элемента $T_{mV,j}$, К, вычисляют по формуле

$$T_{mV,j} = \frac{T_{eV,j} + T_{oV,j}}{2}, \quad (71)$$

где $T_{eV,j}$ — температура дымовых газов в начале отрезка j соединительного элемента, К;
$T_{oV,j}$ — температура дымовых газов в конце отрезка j соединительного элемента, К.

Температуру воздуха для горения, усредненную по длине отрезка j коаксиального соединительного элемента $T_{mBV,j}$, К, вычисляют по формуле

$$T_{mBV,j} = \frac{T_{eBV,j} + T_{oBV,j}}{2}, \quad (72)$$

где $T_{eBV,j}$ — температура воздуха для горения в начале отрезка j соединительного элемента, К;
$T_{oBV,j}$ — температура воздуха для горения в конце отрезка j соединительного элемента, К.

7.8.2.3 Температура дымовых газов и воздуха для горения в отрезках шахты дымовых газов и воздушной шахты

Температура дымовых газов на входе в конструкцию для удаления дымовых газов $T_{e,1}$, К, т. е. в начале первого отрезка $j = 1$ конструкции для удаления дымовых газов

$$T_{e,1} = T_{oV,N_{segV}}, \quad (73)$$

где $T_{oV,N_{segV}}$ — температура дымовых газов в конце отрезка N_{segV} соединительного элемента, К.

Температура дымовых газов $T_{e,j}$, К, в начале отрезка $j > 1$ конструкции для удаления дымовых газов:

$$T_{e,j} = T_{o,j-1}, \quad (74)$$

где $T_{o,j-1}$ — температура дымовых газов в конце участка $j - 1$ конструкции для удаления дымовых газов, К.

Температура воздуха для горения $T_{oB,1}$, К, в конце отрезка $j = 1$ шахты воздуха:

$$T_{oB,1} = T_{eBV,N_{segV}}, \quad (75)$$

где $T_{eBV,N_{segV}}$ — температура воздуха для горения в начале соединительного элемента N_{segV}, К.

Температура воздуха для горения $T_{oB,j}$, К, в конце отрезков $j > 1$ шахты воздуха:

$$T_{oB,j} = T_{eB,j-1}, \tag{76}$$

где $T_{eB,j}$ — температура воздуха для горения в начале отрезка j приточного воздуха, К.

Температуру дымовых газов в конце отрезка j конструкции для удаления дымовых газов $T_{o,j}$, К, вычисляют по формуле

$$T_{o,j} = \frac{\left(2 - K_j\right) \cdot \left(2 - K_{B,j}\right) - 2 \cdot K_j \cdot \left(E_j \cdot T_{e,j} - 2 \cdot T_{oB,j} + K_{B,j} \cdot T_{u,j}\right)}{\left(2 + K_j\right) \cdot \left(2 - K_{B,j}\right) - 2 \cdot K_j \cdot E_j}, \tag{77}$$

где

$$E_j = \frac{\dot{m} \cdot c_{p,j}}{\dot{m}_B \cdot c_{pB,j}}, \tag{78}$$

где K_j — коэффициент охлаждения дымового канала отрезка j конструкции для удаления дымовых газов;

$K_{B,j}$ — коэффициент охлаждения канала воздуха для горения отрезка j шахты воздуха;

E_j — отношение тепловых потоков дымовых газов и воздуха для горения в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов;

$T_{e,j}$ — температура дымовых газов в начале отрезка j конструкции для удаления дымовых газов, К;

$T_{oB,j}$ — температура воздуха для горения в конце отрезка j шахты воздуха, К;

$T_{u,j}$ — температура окружающего воздуха в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, К;

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

$c_{p,j}$ — удельная теплоемкость дымовых газов в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, Дж/(кг · К);

$\dot{m}_B$ — массовый расход воздуха для горения, кг/с;

$c_{pB,j}$ — удельная теплоемкость воздуха для горения в отрезке j шахты воздуха, Дж/(кг · К).

Температуру воздуха для горения $T_{eB,j}$ в начале отрезка j коаксиальной шахты вычисляют по формуле

$$T_{eB,j} = T_{e,j} + T_{o,j} - T_{oB,j} - \frac{2}{K_j}\left(T_{e,j} - T_{o,j}\right), \tag{79}$$

где $T_{e,j}$ — температура дымовых газов в начале отрезка j конструкции для удаления дымовых газов, К;

$T_{o,j}$ — температура дымовых газов в конце отрезка j конструкции для удаления дымовых газов, К;

$T_{oB,j}$ — температура воздуха для горения в конце отрезка j приточного канала, К;

K_j — коэффициент охлаждения дымового канала в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов.

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 концентрической конструкции для удаления дымового газа, вычисляют по формуле

$$T_{m,j} = \frac{T_{e,j} + T_{o,j}}{2}, \tag{80}$$

где $T_{e,j}$ — температура дымовых газов в начале отрезка j конструкции для удаления дымовых газов, К;

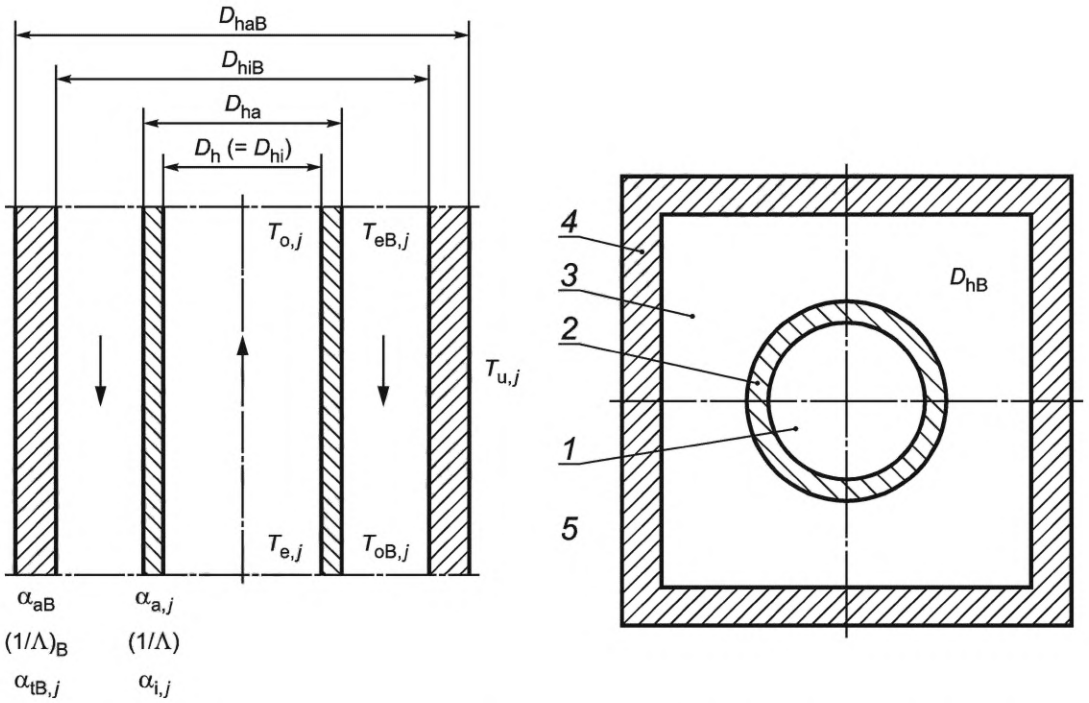
$T_{o,j}$ — температура дымовых газов в конце отрезка j конструкции для удаления дымовых газов, К.

Температуру воздуха для горения $T_{mB,j,}$ усредненную по длине отрезка j шахты воздуха, вычисляют по формуле

$$T_{mB,j} = \frac{T_{eB,j} + T_{oB,j}}{2}, \tag{81}$$

где $T_{eB,j}$ — температура воздуха для горения в начале отрезка j шахты воздуха, К;

$T_{oB,j}$ — температура воздуха для горения в конце отрезка j шахты воздуха, К.



1 — дымовой тракт (с дымовыми газами); *2* — шахта дымовых газов; *3* — воздушный тракт (с воздухом для горения); *4* — шахта воздуха; *5* — окружающий воздух

Рисунок 1 — Обозначения, используемые при вычислении концентрических дымотрубных систем «воздух—дымовые газы» (LAS)

7.8.2.4 Расчет коэффициента охлаждения

Коэффициент охлаждения трубы для дымовых газов отрезка *j* соединительного элемента $K_{V,j}$ вычисляют по формуле

$$K_{V,j} = \frac{k_{V,j} \cdot U_V \cdot L_V}{\dot{m} \cdot c_{pV,j} \cdot N_{segV}}, \quad (82)$$

где $k_{V,j}$ — коэффициент теплопередачи между шахтой дымовых газов и шахтой воздуха в отрезке *j* соединительного элемента, Вт/(м^2 · К);

U_V — внутренний периметр *j* соединительного элемента, м;

L_V — длина *j* соединительного элемента, м;

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

$c_{pV,j}$ — удельная теплоемкость дымовых газов в отрезке *j* соединительного элемента, Дж/(кг · К);

N_{segV} — количество отрезков соединительного элемента.

Коэффициент охлаждения отрезка соединительного элемента по воздуху $K_{BV,j}$ вычисляют по формуле

$$K_{BV,j} = \frac{k_{BV,j} \cdot U_{iBV} \cdot L_{BV}}{\dot{m}_B \cdot c_{pBV,j} \cdot N_{segV}}, \quad (83)$$

где $k_{BV,j}$ — коэффициент теплопередачи между воздухом на горение и окружающим воздухом в отрезке *j* соединительного элемента, Вт/(м^2 · К);

U_{iBV} — внутренний периметр соединительного воздуховода, м;

L_{BV} — длина соединительного воздуховода, м;

$\dot{m}_B$ — массовый поток воздуха на горение, кг/с;

$c_{pBV,j}$ — удельная теплоемкость воздуха для горения в отрезке *j* соединительного приточного воздуховода, Дж/(кг · К);

N_{segV} — количество отрезков соединительного элемента.

Коэффициент охлаждения отрезка j конструкции для удаления дымовых газов K_j вычисляют по формуле

$$K_j = \frac{k_j \cdot U \cdot L}{\dot{m} \cdot c_{p,j} \cdot N_{segV}}, \quad (84)$$

где k_j — коэффициент теплопередачи между дымовым трактом и воздушным трактом в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, Вт/(м^2 · К);

U — периметр шахты дымовых газов, м;

L — длина отрезка конструкции для удаления дымовых газов, м;

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

$c_{p,j}$ — удельная теплоемкость дымовых газов в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, Дж/(кг · К);

N_{segV} — количество отрезков конструкции для удаления дымовых газов.

Коэффициент охлаждения отрезка j шахты воздуха $K_{B,j}$ вычисляют по формуле

$$K_{B,j} = \frac{k_{B,j} \cdot U_{iB} \cdot L_B}{\dot{m}_B \cdot c_{pB,j} \cdot N_{segV}}, \quad (85)$$

где $k_{B,j}$ — коэффициент теплопередачи между воздухом для горения и окружающим воздухом в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, Вт/(м^2 · К);

U_{iB} — внутренний периметр шахты воздуха, м;

L_B — длина шахты воздуха, м;

$\dot{m}_B$ — массовый поток воздуха для горения, кг/с;

$c_{pB,j}$ — удельная теплоемкость воздуха для горения в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, Дж/(кг · К);

N_{segV} — количество отрезков конструкции для удаления дымовых газов.

7.8.2.5 Коэффициент теплопередачи

7.8.2.5.1 Коэффициент теплопередачи между дымовыми газами и воздухом для горения в концентрическом соединительном элементе $k_{V,j}$

Коэффициент теплопередачи $k_{V,j}$, Вт/(м^2 · К), между дымовыми газами и воздухом для горения в отрезке j концентрического соединительного элемента вычисляют по формуле

$$k_{V,j} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{iV,j}} + \left(\frac{1}{\Lambda}\right)_V + \frac{D_{hV}}{D_{haV} + \alpha_{aV,j} \cdot S_{rad}}}, \quad (86)$$

где $\alpha_{iV,j}$ — коэффициент теплоотдачи между дымовыми газами и внутренней поверхностью дымовой трубы в отрезке j соединительного элемента, Вт/(м^2 · К);

$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_V$ — термическое сопротивление дымовой трубы соединительного элемента, Вт/(м^2 · К);

D_{hV} — гидравлический диаметр дымовой трубы соединительного элемента, м;

D_{haV} — наружный гидравлический диаметр дымовой трубы соединительного элемента, м;

$\alpha_{aV,j}$ — коэффициент теплоотдачи между воздухом для горения и наружной поверхностью дымовой трубы в отрезке j соединительного элемента, Вт/(м^2 · К);

S_{rad} — поправочный коэффициент на передачу тепла излучением.

Для учета воздействия излучения от наружной поверхности дымовой трубы на внутреннюю поверхность шахты воздуха для горения в концентрическом соединительном элементе вычисление k_V включает поправочный коэффициент на излучение S_{rad}, значение которого должно быть равно 2.

Для концентрических соединительных элементов, в которых температура внутренней поверхности дымовой трубы всегда ниже температуры конденсации дымовых газов, S_{rad} = 1.

Коэффициент теплообмена в присоединительной трубе $\alpha_{iV,j}$, Вт/(м^2 · К), вычисляют по формуле

$$\alpha_{iV,j} = \frac{\lambda_{AV,j} \cdot Nu_{V,j}}{D_{hV}}, \quad (87)$$

где $\lambda_{AV,j}$ — коэффициент теплопроводности дымовых газов в отрезке j соединительного элемента, Вт/(м · К);

$Nu_{V,j}$ — число Нуссельта в отрезке j соединительного элемента;

D_{hV} — внутренний гидравлический диаметр отрезка j соединительного элемента, м.

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

Среднее по длине отрезка j концентрического соединительного элемента число Нуссельта $Nu_{V,j}$ вычисляют по формуле

$$Nu_{V,j} = \left(\frac{\Psi_{V,j}}{\Psi_{smoothV,j}}\right)^{0,67} \cdot 0,0214 \cdot \left(Re_{V,j}^{0,8} - 100\right) \cdot Pr_{V,j}^{0,4} \cdot \left[1 + \left(\frac{D_{hV}}{L_{totV}}\right)^{0,67}\right], \quad (88)$$

где D_{hV} — внутренний гидравлический диаметр соединительного элемента, м;

L_{totV} — общая длина соединительных элементов от патрубка дымовых газов источника тепла до входа дымовых газов в конструкцию для удаления дымовых газов, м;

$Pr_{V,j}$ — число Прандтля;

$Re_{V,j}$ — число Рейнольдса;

$\Psi_{V,j}$ — коэффициент сопротивления вследствие трения для возмущенного потока (см. 5.10.3.3);

$\Psi_{smoothV,j}$ — коэффициент сопротивления вследствие трения для невозмущенного потока (см. 5.10.3.3 для $r = 0$).

Данную формулу применяют при $2300 < Re_{V,j} < 10\ 000\ 000$ и $\left(\frac{\Psi_{V,j}}{\Psi_{smoothV,j}}\right) < 3$, а также при $0,6 < Pr_{V,j} < 1,5$ м/с.

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

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

Число Прандтля $Pr_{V,j}$ вычисляют по формуле

$$Pr_{V,j} = \frac{\eta_{AV,j} \cdot c_{pV,j}}{\lambda_{AV,j}}, \quad (89)$$

где $\eta_{AV,j}$ — динамическая вязкость дымовых газов, Н · с/м^2;

$c_{pV,j}$ — удельная теплоемкость дымовых газов, Дж/(кг · К);

$\lambda_{AV,j}$ — коэффициент теплопроводности дымовых газов, Вт/(м · К).

Число Рейнольдса $Re_{V,j}$ вычисляют по формуле

$$Re_{V,j} = \frac{w_{mV,j} \cdot D_{hV} \cdot \rho_{mV,j}}{\eta_{AV,j}}, \quad (90)$$

где $w_{mV,j}$ — средняя скорость дымовых газов (7.9.1);

D_{hV} — внутренний гидравлический диаметр соединительного элемента, м;

$\rho_{mV,j}$ — средняя плотность дымовых газов (7.9.1);

$\eta_{AV,j}$ — динамическая вязкость дымовых газов, Н · с/м^2.

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

В случае конструкции для удаления дымовых газов, 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

$$\alpha_{aV,j} = \frac{\lambda_{BV,j} \cdot Nu_{aV,j}}{D_{hBV}}, \quad (91)$$

где

$$D_{hBV} = \frac{4 \cdot A_{BV}}{U_{aV} + U_{iBV}}, \quad (92)$$

$$Nu_{aV,j} = 0{,}86 \cdot \left(\frac{D_{hBV}}{D_{haV}}\right)^{0{,}16} \cdot Nu_{BV,j}, \quad (93)$$

и

$$Nu_{BV,j} = \left(\frac{\Psi_{BV,j}}{\Psi_{smoothBV,j}}\right)^{0{,}67} \cdot 0{,}0214 \cdot \left(Re_{BV,j}^{0{,}8} - 100\right) \cdot Pr_{BV,j}^{0{,}4} \cdot \left[1 + \left(\frac{D_{hBV}}{L_{totBV}}\right)^{0{,}67}\right], \quad (94)$$

$$Re_{BV,j} = \frac{w_{mBV,j} \cdot D_{hBV} \cdot \rho_{mBV,j}}{\eta_{BV,j}}, \quad (95)$$

где $\lambda_{BV,j}$ — теплопроводность воздуха для горения в отрезке j концентрическом соединительном элементе, Вт/(м · К);

$Nu_{aV,j}$ — число Нуссельта для наружной поверхности дымовой трубы соединительного элемента;

D_{hBV} — гидравлический диаметр соединительного элемента воздушного тракта, м;

A_{BV} — площадь поперечного сечения соединительного элемента воздушного тракта, м^2;

D_{haV} — наружный гидравлический диаметр дымовой трубы, м;

U_{iBV} — внутренний периметр соединительного элемента по воздуху, м;

U_{aV} — наружный периметр наружной поверхности дымовой трубы, м;

$Nu_{BV,j}$ — число Нуссельта для отрезка j соединительного элемента по воздуху;

$\psi_{BV,j}$ — наибольшее из значений коэффициента трения на внутренней поверхности соединительного элемента по воздуху и на наружной поверхности дымовой трубы в отрезке j соединительного элемента;

$\psi_{smoothBV,j}$ — коэффициент трения в отрезке j соединительного элемента по воздуху для невозмущенного потока;

$Re_{BV,j}$ — число Рейнольдса для соединительного элемента по воздуху в отрезке j соединительного элемента;

$Pr_{BV,j}$ — число Прандтля для соединительного элемента по воздуху в отрезке j соединительного элемента;

L_{totBV} — общая длина соединительного элемента по воздуху от выхода воздуха из воздушной шахты до входа воздуха в источник тепла, м;

$w_{mBV,j}$ — средняя скорость воздуха для горения в отрезке j соединительного элемента (7.9.2), м/с;

$\rho_{mBV,j}$ — средняя плотность воздуха для горения в отрезке j соединительного элемента, кг/м^3;

$\eta_{BV,j}$ — динамическая вязкость воздуха для горения в отрезке j соединительного элемента, Н · с/м^2.

7.8.2.5.2 Коэффициент теплопередачи между воздухом для горения и окружающим воздухом для концентрического соединительного элемента $k_{BV,j}$

Коэффициент теплопередачи между воздухом для горения и окружающим воздухом для концентрического соединительного элемента $k_{BV,j}$, Вт/(м^2 · К), вычисляют по формуле

$$k_{BV,j} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{iBV,j}} + \left(\frac{1}{\Lambda}\right)_{BV} + \frac{D_{hiBV}}{D_{haBV} + \alpha_{aBV,j}}}, \quad (96)$$

где $\alpha_{iBV,j}$ — коэффициент теплообмена между воздухом для горения и внутренней поверхностью канала воздуха для горения для отрезка j соединительного элемента, Вт/(м^2 · К);

$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_{BV}$ — термическое сопротивление соединительного элемента по воздуху, Вт/(м^2 · К);

D_{hiBV} — внутренний гидравлический диаметр соединительного элемента по воздуху, м;

D_{haBV} — наружный гидравлический диаметр соединительного элемента по воздуху, м;

$\alpha_{aBV,j}$ — коэффициент теплообмена между наружной поверхностью отрезка j соединительного элемента по воздуху и окружающим воздухом, Вт/(м^2 · К).

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

$$\alpha_{iBV,j} = \frac{\lambda_{BV,j} \cdot Nu_{iBV,j}}{D_{hBV}}, \quad (97)$$

где

$$Nu_{iBV,j} = \left[1 - 0{,}14 \cdot \left(\frac{D_{haV}}{D_{hiBV}}\right)^{0{,}6}\right] \cdot Nu_{BV,j}, \quad (98)$$

где $\lambda_{BV,j}$ — теплопроводность воздуха для горения в отрезке j соединительного элемента по воздуху, Вт/(м · К);

$Nu_{iBV,j}$ — число Нуссельта внутри отрезка j соединительного элемента по воздуху;

D_{hBV} — гидравлический диаметр соединительного элемента по воздуху [см. формулу (92)];

D_{haV} — наружный гидравлический диаметр дымовой трубы соединительного элемента;

D_{hiBV} — внутренний гидравлический диаметр соединительного элемента по воздуху;

$Nu_{BV,j}$ — число Нуссельта для эталонного потока в трубе в отрезке j соединительного элемента по воздуху [см. формулу (94)].

7.8.2.5.3 Коэффициент теплопередачи между дымовым трактом и воздушным трактом для концентрических шахт k,j

Коэффициент теплопередачи между дымовым трактом и воздушным трактом для концентрических шахт k_j, Вт/(м^2 · К), (см. рисунок 1) вычисляют по формуле

$$k_j = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{i,j}} + \left(\frac{1}{\Lambda}\right) + \frac{D_h}{D_{ha} \cdot \alpha_{a,j} \cdot S_{rad}}}, \quad (99)$$

где $\alpha_{i,j}$ — коэффициент теплоотдачи между дымовыми газами и внутренней поверхностью дымового канала в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, Вт/(м^2 · К);

$\frac{1}{\Lambda}$ — термическое сопротивление дымовой шахты, Вт/(м^2 · К);

D_h — гидравлический диаметр дымовой шахты, м;

D_{ha} — наружный гидравлический дымовой шахты, м;

$\alpha_{a,j}$ — коэффициент теплообмена между воздухом для горения и наружной поверхностью дымовой шахты в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, Вт/(м^2 · К);

S_{rad} — поправочный коэффициент на излучение от наружной поверхности дымовой шахты на внутреннюю поверхность воздушной шахты.

Для учета воздействия излучения от наружной поверхности дымовой шахты на внутреннюю поверхность воздушной шахты расчет k_V включает поправочный коэффициент на излучение S_{rad}, значение которого должно быть равно 2.

Для отрезков конструкции для удаления дымовых газов, в которых температура внутренней поверхности дымовой шахты всегда ниже температуры конденсации дымовых газов, S_{rad} = 1.

Коэффициент теплообмена в отрезке конструкции для удаления дымовых газов $\alpha_{i,j}$ вычисляют по формуле

$$\alpha_{i,j} = \frac{\lambda_{A,j} \cdot Nu_j}{D_h}, \quad (100)$$

где $\lambda_{A,j}$ — коэффициент теплопроводности дымовых газов в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, Вт/(м · К);

Nu_j — число Нуссельта для отрезке j конструкции для удаления дымовых газов;

D_h — внутренний гидравлический диаметр дымового тракта, 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 вычисляют по формуле

$$Nu_{BV,j} = \left(\frac{\Psi_j}{\Psi_{smooth,j}}\right)^{0{,}67} \cdot 0{,}0214 \cdot \left(Re_j^{0{,}8} - 100\right) \cdot Pr_j^{0{,}4} \cdot \left[1 + \left(\frac{D_h}{L_{tot}}\right)^{0{,}67}\right], \quad (101)$$

где ψ_j — коэффициент сопротивления вследствие трения для возмущенного потока в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов (5.10.3.3);

$\psi_{smooth,j}$ — коэффициент сопротивления вследствие трения для невозмущенного потока в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов (см. 5.10.3.3 для $r = 0$);

Re_j — число Рейнольдса для дымовых газов в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов;

Pr_j — число Прандтля для дымовых газов в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов;

D_h — внутренний гидравлический диаметр дымовой шахты, м;

L_{tot} — общая длина от входа дымовых газов в конструкцию для удаления дымовых газов до выхода из конструкции для удаления дымовых газов, м.

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

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 вычисляют по формуле

$$Pr_j = \frac{\eta_{A,j} \cdot c_{p,j}}{\lambda_{A,j}}, \tag{102}$$

где $\eta_{A,j}$ — динамическая вязкость дымовых газов в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, Н · с/м^2;

$c_{p,j}$ — удельная теплоемкость дымовых газов в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, Дж/(кг · К);

$\lambda_{A,j}$ — коэффициент теплопроводности дымовых газов в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, Вт/(м · К).

Число Рейнольдса Re вычисляют по формуле

$$Re_j = \frac{w_{m,j} \cdot D_h \cdot \rho_{m,j}}{\eta_{A,j}}, \tag{103}$$

где $w_{m,j}$ — средняя скорость дымовых газов в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов (5.9), м/с;

D_h — внутренний гидравлический диаметр дымовой шахты, м;

$\rho_{m,j}$ — средняя плотность дымовых газов в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов (5.9), кг/м^3.

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

Если конструкции для удаления дымовых газов работают во влажных условиях, коэффициент теплоотдачи внутри трубы $\alpha_{i,j}$ определяют аналогично, если не учитывается теплота конденсации.

Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{a,j}$, Вт/(м^2 · К), между воздухом для горения и наружной поверхностью дымовой шахты в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов вычисляют по формуле

$$\alpha_{a,j} = \frac{\lambda_{B,j} \cdot Nu_{a,j}}{D_{hB}}, \tag{104}$$

с учетом значения D_{hB}, м

$$D_{hB} = \frac{4 \cdot A_B}{U_a + U_{iB}}, \tag{105}$$

$$Nu_{a,j} = 0{,}86 \cdot \left(\frac{D_{hB}}{D_{ha}}\right)^{0{,}16} \cdot Nu_{B,j}, \tag{106}$$

и

$$Nu_{B,j} = \left(\frac{\psi_{B,j}}{\Psi_{smoothB,j}}\right)^{0{,}67} \cdot 0{,}0214 \cdot \left(Re_{B,j}^{0{,}8} - 100\right) \cdot Pr_{B,j}^{0{,}4} \cdot \left[1 + \left(\frac{D_{hB}}{L_{Btot}}\right)^{0{,}67}\right], \tag{107}$$

где $$Re_{B,j} = \frac{w_{mB,j} \cdot D_{hB} \cdot \rho_{mB,j}}{\eta_{B,j}}, \quad (108)$$

здесь $\lambda_{B,j}$ — теплопроводность воздуха для горения в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, Вт/(м · К);

$Nu_{a,j}$ — число Нуссельта с наружной стороны дымовой шахты в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов;

D_{hB} — гидравлический диаметр воздушного тракта, м;

A_B — площадь поперечного сечения воздушной шахты, м^2;

U_{iB} — внутренний периметр воздушной шахты, м;

U_a — наружный периметр воздушной шахты, м;

D_{ha} — наружный гидравлический диаметр дымовой шахты, м;

$Nu_{B,j}$ — число Нуссельта для эталонного потока в конструкции для удаления дымовых газов;

$\psi_{B,j}$ — наибольшее из значений коэффициента трения на внутренней поверхности воздушной шахты а и на наружной поверхности отрезка j конструкции для удаления дымовых газов;

$\psi_{smoothB,j}$ — коэффициент трения при подводе воздуха для невозмущенного потока воздуха для горения в отрезке j воздушной шахты;

$Re_{B,j}$ — число Рейнольдса воздуха для горения в отрезке j воздушной шахты;

$Pr_{B,j}$ — число Прандтля воздуха для горения в отрезке j воздушной шахты;

L_{Btot} — общая длина вертикальной шахты воздуха от входа воздуха для горения из наружной атмосферы до входа воздуха для горения в соединительный элемент по воздуху, м;

$w_{mB,j}$ — средняя скорость воздуха для горения в отрезке j воздушной шахты, м/с;

$\rho_{mB,j}$ — плотность воздуха для горения, усредненная по длине отрезка j воздушной шахты, кг/м^3;

$\eta_{B,j}$ — динамическая вязкость воздуха для горения в отрезке j воздушной шахты, м^2 · с.

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

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

7.8.2.5.4 Коэффициент теплопередачи между воздухом для горения и окружающим воздухом для концентрических шахт $k_{B,j}$

Коэффициент теплопередачи между воздухом для горения и окружающим воздухом $k_{B,j}$, Вт/(м^2 · К), в случае концентрических шахт вычисляют по формуле

$$k_{B,j} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{iB,j}} + \left(\frac{1}{\Lambda}\right)_B + \frac{D_{hiB}}{D_{haB} \cdot \alpha_{aB,j}}}, \quad (109)$$

где $\alpha_{iB,j}$ — коэффициент теплоотдачи между воздухом для горения и внутренней поверхностью воздушной шахты в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, Вт/(м^2 · К);

$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_B$ — термическое сопротивление воздушной шахты, Вт/(м^2 · К);

D_{haB} — наружный гидравлический диаметр воздушной шахты, м;

D_{hiB} — внутренний гидравлический диаметр воздушной шахты, м;

$\alpha_{aB,j}$ — коэффициент теплоотдачи между наружной поверхностью воздушной шахты и окружающим воздухом.

Для вычисления $\alpha_{iB,j}$, Вт/(м^2 · К), следует использовать формулу

$$\alpha_{iB,j} = \frac{\lambda_{B,j} \cdot Nu_{iB,j}}{D_{hB}}, \quad (110)$$

с $$Nu_{iB,j} = \left[1 - 0{,}14 \cdot \left(\frac{D_{ha}}{D_{hiB}}\right)^{0{,}6}\right] \cdot Nu_{B,j}, \quad (111)$$

где $\lambda_{B,j}$ — теплопроводность воздуха на горение в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, Вт/(м·К);

$Nu_{iB,j}$ — число Нуссельта для внутренней поверхности отрезка j воздушной шахты;

$Nu_{B,j}$ — число Нуссельта для эталонного потока в конструкции для удаления дымовых газов [см. формулу (106)];

D_{hB} — гидравлический диаметр воздушной шахты, м [см. формулу (104)];

D_{hiB} — внутренний гидравлический диаметр воздушной шахты, м;

D_{ha} — наружный гидравлический диаметр дымовой шахты, м.

7.8.3 Концентрические шахты. Расчет на основе теплового излучения

7.8.3.1 Общие положения

При расчете теплоотдачи для теплового излучения между внешней поверхностью дымовой шахты и внутренней поверхностью воздушной шахты может быть учтен только для ограниченного диапазона температур и для ограниченного диапазона скоростей дымовых газов на основе стандартизованного поправочного коэффициента на радиационный теплообмен. Расчет необходимо проводить с более высокой степенью точности особенно, когда расчетным путем необходимо определить не только поперечное сечение конструкции для удаления дымовых газов, но и теплообмен с воздухом для горения или с прилегающими помещениями. В этом случае необходимо вычислить температуру в дымовой шахте и в воздушной шахте, 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 конструкции для удаления дымовых газов с учетом радиационного теплообмена так, как это приведено в 7.8.2, относительно температуры дымовых газов $T_{o,j}$ в конце отрезка j конструкции для удаления дымовых газов и температуры $T_{oB,j}$ в конце отрезка j воздушной шахты. 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 конструкцией для удаления дымовых газов и воздуха для горения, а также между каналом воздуха для горения и окружающим помещением.

7.8.3.2 Система уравнений

Для вычисления температуры дымовых газов в отрезках конструкции для удаления дымовых газов и отрезках соединительного элементе при соответствующей температуре приточного воздуха решают систему из 15 уравнений со следующими неизвестными: $q_{C,j}$, $q_{a,j}$, $q_{iB,j}$, $q_{B,j}$, $q_{u,j}$, $q_{rad,j}$, $T_{m,j}$, $T_{o,j}$, $T_{ma,j}$, $T_{mB,j}$, $T_{eB,j}$ (или $T_{oB,j}$, в зависимости от типа итерации), $T_{miB,j}$, k_j^*, $k_{iB,j}^*$, $\alpha_{Rad,j}$.

Тепловой поток в направлении от дымовой шахты к наружной поверхности конструкции для удаления дымовых газов $q_{C,j}$, Вт, вычисляют по формуле

$$q_{C,j} = \frac{U \cdot L}{\left[\frac{1}{\alpha_{i,j}} + \left(\frac{1}{\Lambda}\right)\right] \cdot N_{seg}} \cdot \left(T_{m,j} - T_{ma,j}\right), \quad (112)$$

где U — внутренний периметр конструкции для удаления дымовых газов, м;

L — длина конструкции для удаления дымовых газов, м;

$T_{m,j}$ — средняя температура дымовых газов в отрезке j, К;

$T_{ma,j}$ — средняя температура у наружной поверхности отрезка j конструкции для удаления дымовых газов, К;

$\alpha_{i,j}$ — коэффициент теплообмена внутри дымовой шахты в отрезке j (см. формулу (99)), Вт/(м^2 · К);

$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)$ — термическое сопротивление конструкции для удаления дымовых газов, м^2 · К/Вт;

N_{seg} — количество отрезков конструкции для удаления дымовых газов, используемых в вычислениях.

$$q_{C,j} = \dot{m} \cdot c_{p,j}\left(T_{e,j} - T_{o,j}\right), \tag{113}$$

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 конструкции для удаления дымовых газов, К;

$T_{o,j}$ — температура дымовых газов на выходе из отрезка j конструкции для удаления дымовых газов, К.

Тепловой поток в направлении от наружной поверхности конструкции для удаления дымовых газов к воздуху для горения $q_{a,j}$, Вт, вычисляют по формуле

$$q_{a,j} = \frac{U_a \cdot L \cdot \alpha_{a,j}}{N_{seg}} \cdot \left(T_{ma,j} - T_{mB,j}\right), \tag{114}$$

где U_a — наружный периметр конструкции для удаления дымовых газов, м;

L — длина конструкции для удаления дымовых газов, м;

$\alpha_{a,j}$ — коэффициент внутренней теплоотдачи воздуха для горения в отрезке j (со стороны шахты дымовых газов), Вт/(м^2·К);

$T_{ma,j}$ — средняя температура наружной поверхности в отрезке j дымовой шахты, К;

$T_{mB,j}$ — средняя температура воздуха для горения в отрезке j, воздушной шахты, К;

N_{seg} — количество отрезков конструкции для удаления дымовых газов, используемых в вычислениях.

Тепловой поток в направлении от воздуха для горения к внутренней поверхности канала воздуха для горения $q_{iB,j}$, Вт, вычисляют по формуле

$$q_{iB,j} = \frac{U_{iB} \cdot L \cdot \alpha_{iB,j}}{N_{seg}} \cdot \left(T_{mB,j} - T_{miB,j}\right), \tag{115}$$

где U_{iB} — внутренний периметр воздушной шахты, м;

L — длина конструкции для удаления дымовых газов, м;

$\alpha_{iB,j}$ — коэффициент внутренней теплоотдачи воздуха для горения в отрезке j (со стороны шахты дымовых газов), Вт/(м^2 · К);

$T_{mB,j}$ — средняя температура воздуха для горения в отрезке j воздушной шахты, К;

$T_{miB,j}$ — средняя температура внутренней поверхности отрезка j воздушной шахты, К;

N_{seg} — количество отрезков конструкции для удаления дымовых газов, используемых в вычислениях.

Тепловой поток воздуха для горения $q_{B,j}$, Вт, в отрезке j вычисляют по формуле

$$q_{B,j} = \dot{m}_B \cdot c_{pB,j}\left(T_{eB,j} - T_{oB,j}\right), \tag{116}$$

где $\dot{m}_B$ — массовый поток воздуха для горения, кг/с;

$c_{pB,j}$ — удельная теплоемкость воздуха для горения в отрезке j, Дж/(кг · К);

$T_{eB,j}$ — температура на входе в отрезок j шахты воздуха для горения, К

$T_{oB,j}$ — температура на выходе из отрезка j шахты воздуха для горения, К.

Тепловой поток в направлении от внутренней поверхности воздушной шахты к окружающему воздуху $q_{u,j}$, Вт, вычисляют по формуле

$$q_{u,j} = \frac{U_{iB} \cdot L}{\left[\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_B + \frac{D_{hiB}}{D_{haB} \cdot \alpha_{aB,j}}\right] \cdot N_{seg}} \cdot \left(T_{miB,j} - T_{u,j}\right), \tag{117}$$

где U_{iB} — внутренний периметр воздушной шахты, м;

L — длина конструкции для удаления дымовых газов, м;

$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_B$ — термическое сопротивление воздушной шахты, м^2·К/Вт;

D_{hiB} — внутренний гидравлический диаметр воздушной шахты, м;

D_{haB} — наружный гидравлический диаметр воздушной шахты, м;

$\alpha_{aB,j}$ — коэффициент теплообмена наружной поверхности в отрезке j воздушной шахты, Вт/(м^2 · К);

N_{seg} — количество отрезков конструкции для удаления дымовых газов, используемых в вычислениях;

$T_{miB,j}$ — средняя температура внутренней поверхности отрезка j воздушной шахты, К;

$T_{u,j}$ — температура окружающего воздуха в отрезке j, К.

Радиационный тепловой поток q_{rad}, Вт, вычисляют по формуле

$$q_{rad,j} = \frac{U_a \cdot L \cdot \sigma_{Rad,j}}{\left[\frac{1}{\varepsilon_a} + \frac{D_{ha}}{D_{hiB}}\left(\frac{1}{\varepsilon_{iB}} - 1\right)\right] \cdot N_{seg}} \cdot \left(T_{ma,j}^4 - T_{miB,j}^4\right), \quad (118)$$

где U_a — наружный периметр конструкции для удаления дымовых газов, м;

L — длина конструкции для удаления дымовых газов, м;

$\sigma_{Rad,j}$ — коэффициент излучения абсолютно черного тела; $\sigma_{Rad} = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$, Вт/(м^2 · К^4);

ε_a — излучательная способность наружной поверхности воздушной шахты (по таблице В.5);

D_{ha} — гидравлический диаметр внешнего слоя конструкции для удаления дымовых газов, м;

D_{hiB} — гидравлический диаметр внутреннего слоя воздушной шахты, м;

ε_{iB} — коэффициент излучения абсолютно черного тела, испускаемого внутренней поверхностью воздушной шахты (по таблице В.5);

N_{seg} — количество отрезков конструкции для удаления дымовых газов, используемых в вычислениях;

$T_{ma,j}$ — средняя температура наружной поверхности в отрезке j конструкции для удаления дымовых газов, К;

$T_{miB,j}$ — средняя температура внутренней поверхности в отрезке j воздушной шахты, К.

Тепловой баланс рассчитывают с использованием следующих формул:

- тепловой баланс между дымовыми газами, воздухом для горения и окружающим воздухом, $q_{C,,j}$, Вт

$$q_{C,j} = q_{u,j} + q_{B,j}, \quad (119)$$

- тепловой баланс на наружной поверхности конструкции для удаления дымовых газов, $q_{C,j}$, Вт

$$q_{C,j} = q_{a,j} + q_{Rad,j}, \quad (120)$$

- тепловой баланс на внутренней поверхности воздушной шахты, $q_{u,j}$, Вт

$$q_{u,j} = q_{iB,j} + q_{Rad,j}. \quad (121)$$

На коротких отрезках для средних температур $T_{m,j}$ *и* $T_{mB,j}$, *K,* можно воспользоваться следующими формулами:

$$T_{m,j} = \frac{T_{e,j} + T_{o,j}}{2}, \quad (122)$$

$$T_{mB,j} = \frac{T_{eB,j} + T_{oB,j}}{2}. \quad (123)$$

7.8.3.3 Коэффициент охлаждения

Вычисления коэффициента охлаждения см. в 7.8.2.4.

7.8.3.4 Коэффициент теплоотдачи

Вычисление коэффициента теплоотдачи см. в 7.8.2.5.

7.8.4 Средняя температура для вычисления давления

Среднюю температуру дымовых газов, усредненную по длине конструкции для удаления дымовых газов, T_m, К, вычисляют по формуле

$$T_m = \frac{N_{seg}}{\sum_{j=1}^{N_{seg}} \frac{1}{T_{m,j}}}, \quad (124)$$

где N_{seg} — количество отрезков конструкции для удаления дымовых газов;

$T_{m,j}$ — средняя температура дымовых газов, усредненная по длине отрезка j, К.

Среднюю температуру дымовых газов, усредненную по длине соединительного элемента, T_{mV}, К, вычисляют по формуле

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

где N_{seg} — количество отрезков конструкции для удаления дымовых газов;

$T_{mV,j}$ — средняя температура дымовых газов, усредненная по длине отрезка j дымовой трубы, К.

Среднюю температуру воздуха для горения, усредненную по длине воздушной шахты, T_{mB}, К, вычисляют по формуле

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

где N_{seg} — количество отрезков конструкции для удаления дымовых газов;

$T_{mB,j}$ — средняя температура воздуха для горения, усредненная по длине отрезка j воздушной шахты, К.

Среднюю температуру воздуха для горения, усредненную по длине соединительного элемента по воздуху, T_{mBV}, К, вычисляют по формуле

$$T_{mBV} = \frac{N_{segV}}{\sum_{j=1}^{N_{segV}} \frac{1}{T_{mBV,j}}}, \quad (127)$$

где N_{segV} — количество отрезков соединительного элемента;

$T_{mBV,j}$ — средняя температура воздуха для горения, усредненная по длине отрезка j соединительного элемента, К.

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 конструкции для удаления дымовых газов, а также соединительного элемента ρ_{mV} и w_{mV} определяют в соответствии с 5.9.

7.9.2 Плотность и скорость воздуха для горения

Плотность воздуха для горения ρ_{mBV}, кг/м^3, усредненную по длине соединительного элемента, вычисляют по формуле

$$\rho_{mBV} = \frac{p_L}{R_L \cdot T_{mBV}}, \quad (128)$$

где p_L — давление наружного воздуха, Па;

R_L — газовая постоянная воздуха, Дж/(кг · К);

T_{mBV} — средняя температура приточного воздуха, усредненная по длине соединительного элемента по воздуху, К.

Скорость воздуха для горения w_{mBV}, м/с, усредненную по длине соединительного элемента по воздуху, следует вычислять по формуле

$$w_{mBV} = \frac{\dot{m}_B}{A_{BV} \cdot \rho_{mBV}}, \quad (129)$$

где $\dot{m}_B$ — массовый поток воздуха для горения, кг/с;

A_{BV} — площадь поперечного сечения соединительного элемента по воздуху, м^2;

ρ_{mBV} — плотность воздуха для горения, усредненная по длине соединительного элемента по воздуху, кг/м^3.

Плотность воздуха для горения ρ_{mB}, кг/м^3, усредненную по длине соединительного элемента по воздуху, вычисляют по формуле

$$\rho_{mB} = \frac{p_L}{R_L \cdot T_{mB}}, \quad (130)$$

где p_L — давление наружного воздуха, Па;

R_L — газовая постоянная воздуха, Дж/(кг·К);

T_{mB} — средняя температура воздуха для горения, усредненная по длине воздушной шахты, К.

Скорость приточного воздуха w_{mB}, м/с, усредненную по длине воздушной шахты, вычисляют по формуле

$$w_{mB} = \frac{\dot{m}_B}{A_B \cdot \rho_{mB}}, \quad (131)$$

где $\dot{m}_B$ — массовый поток воздуха для горения, кг/с;

A_B — площадь поперечного сечения воздушной шахты, м^2;

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

7.10 Определение давлений

7.10.1 Давление на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов

Расчет давления на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов производят в соответствии с 5.10.1 и 7.2.

7.10.2 Самотяга на отрезке конструкции для удаления дымовых газов P_H

Расчет самотяги в отрезке конструкции для удаления дымовых газов P_H производят в соответствии с 5.10.2.

7.10.3 Сопротивление отрезка конструкции для удаления дымовых газов P_R

Расчет сопротивления отрезка конструкции для удаления дымовых газов 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 необходимое разрежение и максимально возможное разрежение (P_{Ze} и P_{Zemax}) и максимально допустимое и минимально необходимое избыточное давления (P_{ZOe} и P_{ZOemin}) на входе дымовых газов в вертикальную часть конструкции для удаления дымовых газов

7.11.1 Общие положения

Общие положения приведены в 5.11.1.

7.11.2 Необходимое давление для преодоления сопротивления и максимально возможное разрежение источника тепла (P_W и P_{Wmax}), а также и максимально возможное давление для преодоления сопротивления и необходимое разрежение источника тепла (P_{WO} и P_{WOmin})

Необходимое давление для преодоления сопротивления и максимально возможное разрежение источника тепла (P_W и P_{Wmax}), а также максимально возможное давление для преодоления сопротивления и необходимое разрежение источника тепла (P_{WO} и P_{WOmin}) следует вычислять в соответствии с 5.5.4, 5.5.5 или 5.5.6.

7.11.3 Необходимое давление для преодоления сопротивления соединительного элемента P_{FV}

Расчет необходимого давления для преодоления сопротивления соединительного элемента P_{FV} производят в соответствии с 5.11.3.

7.11.4 Необходимое давление для преодоления сопротивления подводу воздуха

7.11.4.1 Самотяга в шахте воздуха для горения P_{HB}

Самотягу в шахте воздуха для горения P_{HB}, Па, вычисляют по формуле

$$P_{HB} = H_B \cdot g \cdot (\rho_L - \rho_{mB}), \quad (132)$$

где H_B — высота воздушной шахты, м;

g — ускорение свободного падения; g = 9,81 м/с^2;

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

ρ_{mB} — плотность воздуха для горения, усредненная по длине воздушной шахты, кг/м^3.

Примечание — Опыт показывает, что следует ограничивать минимальную площадь поперечного сечения концентрических воздушных шахт. Рекомендуемое соотношение площади поперечного сечения шахты дымовых газов и воздушной шахты 1,5:1.

7.11.4.2 Самотяга соединительного элемента по воздуху P_{HBV}

Самотягу соединительного элемента по воздуху P_{HBV}, Па, вычисляют по формуле

$$P_{HBV} = H_{BV} \cdot g \cdot (\rho_L - \rho_{mBV}), \quad (133)$$

где H_{BV} — высота соединительного элемента по воздуху, м;

g — ускорение свободного падения; g = 9,81 м/с^2;

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

ρ_{mBV} — плотность воздуха для горения, усредненная по длине соединительного элемента по воздуху, кг/м^3.

7.11.4.3 Необходимое давление для преодоления сопротивления воздушной шахты P_{RB}

Необходимое давление для преодоления сопротивления воздушной шахты P_{RB}, Па, вычисляют по формуле

$$P_{RB} = S_{EB} \cdot (\psi_B \cdot \frac{L}{D_{hB}} + \sum \zeta_B) \cdot \frac{\rho_{mB}}{2} \cdot w_{mB}^2 + S_{EGB} \cdot P_{GB}, \quad (134)$$

где S_{EB} — аэродинамический коэффициент стабильности потока для воздушной шахты;

ψ_B — коэффициент гидравлического сопротивления вследствие трения в воздушной шахте конструкции для удаления дымовых газов;

L — длина конструкции для удаления дымовых газов, м;

D_{hB} — гидравлический диаметр воздушной шахты конструкции для удаления дымовых газов, м;

$\sum \zeta_B$ — сумма коэффициентов сопротивления в воздушной шахте конструкции для удаления дымовых газов;

ρ_{mB} — плотность воздуха для горения, усредненная по длине конструкции для удаления дымовых газов, кг/м^3;

w_{mB} — скорость воздуха для горения, усредненная по длине канала приточного воздуха, кг/с;

S_{EGB} — аэродинамический коэффициент стабильности потока для сопротивления вследствие изменения скорости потока в воздушной шахте ($S_{EGB} = S_{EB}$ для $P_{GB} \geq 0$ и S_{EGB} = 1,0 для $P_{GB} < 0$);

P_{GB} — изменение давления вследствие изменения скорости потока и массы подаваемого воздуха в воздушной шахте конструкции для удаления дымовых газов, Па.

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

$$\frac{1}{\sqrt{\psi_B}} = -2 \cdot \lg\left(\frac{2{,}51}{Re_B \cdot \sqrt{\psi_B}} + \frac{r_B}{3{,}71 \cdot D_{hB}}\right), \quad (135)$$

где Re_B — число Рейнольдса для воздушной шахты (см. 7.8.2.5.3);

r_B — среднее значение шероховатости внутренней поверхности воздушной шахты, м;

D_{hB} — гидравлический диаметр воздушной шахты, м.

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

Изготовитель должен предоставить значения средней шероховатости. На случай, когда значения шероховатости 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}, Па, в канале приточного воздуха вычисляют по формуле

$$P_{GB} = \frac{\rho_{mB}}{2} \cdot w_{mB}^2, \quad (136)$$

где ρ_{mB} — плотность воздуха для горения, усредненная по длине воздушной шахты, кг/м^3;

w_{mB} — скорость воздуха для горения, усредненная по длине воздушной шахты, м/с.

7.11.4.4 Давление, необходимое для преодоления сопротивления соединительного элемента воздушной шахты, P_{RBV}

Давление, необходимое для преодоления сопротивления соединительного элемента воздушной шахты, P_{RBV}, Па, вычисляют по формуле

$$P_{RBV} = S_{EB} \cdot \left(\psi_{BV} \cdot \frac{L_{BV}}{D_{hBV}} + \sum \zeta_{BV} \right) \cdot \frac{\rho_{mBV}}{2} \cdot w_{mBV}^2 + S_{EGBV} \cdot P_{GBV}, \quad (137)$$

где S_{EB} — аэродинамический коэффициент стабильности потока для соединительного элемента по воздуху;

ψ_{BV} — коэффициент трения в соединительном элементе по воздуху;

L_{BV} — длина соединительного элемента по воздуху, м;

D_{hBV} — гидравлический диаметр воздушного тракта в соединительном элементе, м;

$\sum \zeta_{BV}$ — сумма коэффициентов сопротивления массового потока в соединительном элементе по воздуху;

ρ_{mBV} — плотность воздуха на горение, усредненная по длине соединительного элемента по воздуху, кг/м^3;

w_{mBV} — скорость воздуха для горения, усредненная по длине соединительного элемента по воздуху, м/с;

S_{EGBV} — аэродинамический коэффициент стабильности потока для сопротивления вследствие изменения скорости потока в соединительном элементе по воздуху ($S_{EGBV} = S_{EB}$ для $P_{GBV} \geq 0$ и $S_{EGBV} = 1{,}0$ для $P_{GBV} < 0$);

P_{GBV} — изменение давления вследствие изменения скорости потока в соединительном элементе подаче воздуха, Па.

Коэффициент гидравлического сопротивления вследствие трения в дымовой шахте ψ_{BV} для различных шероховатостей вычисляют по формуле

$$\frac{1}{\sqrt{\psi_{BV}}} = -2 \cdot \lg\left(\frac{2{,}51}{Re_{BV} \cdot \sqrt{\psi_{BV}}} + \frac{r_{BV}}{3{,}71 \cdot D_{hBV}} \right), \quad (138)$$

где Re_{BV} — число Рейнольдса для соединительного элемента по воздуху (см. 7.8.2.5.3);

r_{BV} — среднее значение шероховатости внутренней поверхности соединительного элемента по воздуху, м;

D_{hBV} — гидравлический диаметр соединительного элемента воздушного тракта, м.

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}, Па, в соединительном элементе по воздуху вычисляют по формуле

$$P_{GBV} = \frac{\rho_{mBV}}{2} \cdot w_{mBV}^2 - \frac{\rho_{mB}}{2} \cdot w_{mB}^2, \quad (139)$$

где ρ_{mBV} — плотность приточного воздуха, усредненная по длине соединительного элемента по воздуху, кг/м^3;

w_{mBV} — скорость приточного воздуха, усредненная по длине соединительного элемента по воздуху, м/с;

ρ_{mB} — плотность приточного воздуха, усредненная по длине воздушной шахты, кг/м^3;

w_{mB} — скорость приточного воздуха, усредненная по длине воздушной шахты, м/с.

7.12 Вычисление температуры внутренней поверхности устья конструкции для удаления дымовых газов T_{iob}

Температуру внутренней поверхности устья конструкции для удаления дымовых газов при температуре равновесия T_{iob}, К, вычисляют по формуле:

$$T_{\text{iob}} = T_{\text{o,Nseg}} - \frac{k_{N_{\text{seg}}}}{\alpha_{\text{i},N_{\text{seg}}}} \cdot \left(T_{\text{o},N_{\text{seg}}} - T_{\text{uo}}\right), \quad (140)$$

где $T_{\text{o},N_{\text{seg}}}$ — температура дымовых газов в конце последнего отрезка N_{seg} конструкции для удаления дымовых газов, К;

$k_{N_{\text{seg}}}$ — коэффициент теплоотдачи между дымовым трактом и воздушным трактом последнего отрезка N_{seg} конструкции для удаления дымовых газов, Вт/(м^2 · К);

$\alpha_{\text{i},N_{\text{seg}}}$ — коэффициент теплоотдачи между дымовыми газами и внутренней поверхностью дымовой шахты последнего отрезка N_{seg} конструкции для удаления дымовых газов, Вт/(м^2 · К);

T_{uo} — температура окружающего воздуха на выходе из устья конструкции для удаления дымовых газов, К.

8 Учет теплоты конденсации водяного пара из дымовых газов

8.1 Общие положения

Предыдущий раздел позволяет рассчитывать заданные параметры для конструкции для удаления дымовых газов, 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 конструкции для удаления дымовых газов. 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.

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 шахты 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 систему LAS 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 соединительного элемента ниже точки росы дымовых газов по воде, то соединительный элемент следует также разделить на N_{segV} равных отрезков, длина каждого из которых должна составлять не более 0,5 м.

8.2 Возникновение конденсации

Для нахождения отрезка $N_{\text{seg}}K$ и (или) $N_{\text{seg}}KV$, в котором начинается конденсация, следует вычислять температуру внутренней поверхности $T_{\text{iob},j}$ в конце каждого отрезка j в соответствии с разделом 5 или 7, начиная с первого отрезка соединительного элемента конструкции для удаления дымовых газов или соединительного элемента, на которых может возникнуть конденсация, пока не будет выполнено следующее условие:

$$T_{\text{iob},j} - T_{\text{pe},1} < 0, \quad (141)$$

где

$$T_{\text{iob},j} = T_{\text{ob},j} - \frac{k_{\text{b},j}}{\alpha_{i,j}} \cdot \left(T_{\text{ob},j} - T_{\text{u},j}\right), \quad (142)$$

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

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

$k_{\text{b},j}$ — коэффициент теплопередачи в отрезке j при температуре равновесия (см. раздел 5 или 7), Вт/(м^2 · К);

$\alpha_{\text{i},j}$ — коэффициент конвективного теплообмена в отрезке j (см. раздел 5 или 7), Вт/(м^2 · 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 — Необходимо проверить выполнение условия (141), особенно если имеют место изменения в размерах дымовой шахты или в значении термического сопротивления соединительного элемента и (или) дымовой шахты, в частности на входе в конструкцию для удаления дымовых газов (дымовой шахты).

Температура точки росы на входе в первый отрезок соединительного элемента $T_{peV,1}$ зависит от содержания водяного пара в дымовых газах на выходе из источника тепла. Для неконденсационных котлов $T_{peV,1} = T_p$.

Для конденсационных котлов значение для содержания водяного пара в дымовых газах $\sigma(H_2O)_w$ следует получить от изготовителя источника тепла. Используя это значение по формулам (В.6) и (В.7) (приложение В) определяем парциальное давление водяного пара на выходе из источника тепла p_{DW} и точку росы по воде $T_{peV,1}$.

Если все значения неизвестны, за температуру точки 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 источнике тепла, то массовый поток дымовых газов можно определить, используя формулу:

$$\dot{m}_w = \dot{m} - \Delta\dot{m}_{DW}, \tag{143}$$

при этом

$$\Delta\dot{m}_{DW} = \dot{m} \cdot \frac{R}{R_D} \cdot \left(1 - \frac{p_D}{p_L}\right) \cdot \left(\frac{p_D}{p_L - p_D} - \frac{p_{DW}}{p_{LW} - p_{DW}}\right), \tag{144}$$

где $\dot{m}_w$ — массовый поток дымовых газов на выходе из источника тепла с учетом изменения массового потока за счет конденсации в источнике тепла, кг/с;

$\dot{m}_{DW}$ — массовый поток конденсата в источнике тепла, 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 источника тепла, Па.

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

$$\dot{m}_{oV,0} = \dot{m}_W, \tag{145}$$

$$T_{obV,0} = T_W, \tag{146}$$

$$T_{iobV,0} = T_W - \frac{k_{bV,1}}{\alpha_{iV,1}} \cdot \left(T_W - T_{uV,1}\right), \tag{147}$$

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;

$T_{iobV,0}$ — температура внутренней стенки на входе в первый отрезок при температуре равновесия, К;

T_W — температура дымовых газов на выходе из источника тепла при температуре равновесия, К;

$k_{bV,1}$ — коэффициент теплопередачи первого отрезка при температуре равновесия, Вт/(м^2 · К);

$\alpha_{iV,1}$ — коэффициент теплообмена первого отрезка, Вт/(м^2 · К);

$T_{uV,1}$ — температура окружающего воздуха на первом отрезке, К.

Точка росы по воде на входе в первый отрезок конструкции для удаления дымовых газов $T_{pe,1}$ зависит от содержания водяного пара в дымовых газах на выходе из соединительного элемента. Если конденсация в соединительном элементе не происходит, то допускается использовать $T_{pe,1} = T_{pV,1}$. В других случаях допускается использовать формулу

$$\sigma(H_2O)_{V,N_{segV}} = \frac{\frac{R}{R_D}\cdot\frac{p_D}{p_L} - \frac{\Delta\dot{m}_{DW}+\dot{m}_{DV}}{\dot{m}}}{\frac{R}{R_D} - \frac{\Delta\dot{m}_{DW}+\dot{m}_{DV}}{\dot{m}}}\cdot 100, \quad (148)$$

и

$$\Delta\dot{m}_{DV} = \sum_{j=N_{segKV}}^{N_{segV}} \Delta\dot{m}_{D,j}, \quad (149)$$

где $\sigma(H_2O)_{V,N_{segV}}$ — содержание водяного пара в дымовых газах на выходе из соединительного элемента, %;

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;

$\dot{m}_{DW}$ — массовый поток конденсата в источнике тепла, кг/с;

$\dot{m}_{DV}$ — массовый поток конденсата в соединительном элементе, кг/с;

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

N_{segV} — количество отрезков соединительного элемента;

N_{segKV} — номер отрезка соединительного элемента, где начинается конденсация.

Используя значение содержания водяного пара в дымовых газах на выходе из соединительного элемента $\sigma(H_2O)_{V,N_{segV}}$, по формулам (В.6) и (В.7) (приложение В) можно определить соответствующее парциальное давление водяного пара $p_{DV,N_{segV}}$ и точку росы по воде $T_{pe,1}$.

Если N_{segK} = 1, то используют следующие уравнения:

$$\dot{m}_{o,0} = \dot{m}_W - \Delta\dot{m}_{DV}, \quad (150)$$

$$T_{ob,0} = T_{eb}, \quad (151)$$

$$T_{iob,0} = T_{eb} - \frac{k_{b,1}}{\alpha_{i,1}}\cdot\left(T_{eb} - T_{u,1}\right), \quad (152)$$

где $\dot{m}_{o,0}$ — массовый поток дымовых газов на входе в первый отрезок, кг/с;

$\Delta\dot{m}_{DV}$ — массовый поток конденсата в соединительном элементе, 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 конструкцию для удаления дымовых газов при температуре равновесия, К;

$k_{b,1}$ — коэффициент теплопередачи первого отрезка при температуре равновесия, Вт/(м^2 · К);

$\alpha_{i,1}$ — коэффициент теплоотдачи первого отрезка, Вт/(м^2 · К);

$T_{u,1}$ — температура окружающего воздуха на первом отрезке, К.

8.3 Расчет температуры дымовых газов на выходе из отрезка конструкции для удаления дымовых газов ($j \geq N_{segK}$) с учетом конденсации

Приведенные ниже формулы позволяют вычислить путем итераций температуру дымовых газов на выходе из отрезка j конструкции для удаления дымовых газов $T_{ob,j}$.

Примечания

1 Рекомендуется начинать итерацию со значения $T_{ob,j}$, вычисленного без учета конденсации.

2 Формулы для отрезков конструкции для удаления дымовых газов также применимы к соединительному элементу при использовании соответствующих значений.

Температуру внутренней поверхности $T_{iob,j}$, *К,* на выходе из отрезка j при температуре равновесия вычисляют по формуле

$$T_{\mathrm{iob},j} = T_{\mathrm{ob},j} - \frac{k_{\mathrm{obtot},j}}{\alpha_{\mathrm{iotot},j}} \cdot \left(T_{\mathrm{ob},j} - T_{\mathrm{u},j}\right), \tag{153}$$

где $T_{\mathrm{ob},j}$ — температура дымовых газов на выходе из отрезка j при температуре равновесия, К;

$k_{\mathrm{obtot},j}$ — суммарный коэффициент теплопередачи на выходе из отрезка j при температуре равновесия, Вт/(м^2 · К);

$\alpha_{\mathrm{iotot},j}$ — суммарный коэффициент теплоотдачи путем конвекции и конденсации на выходе из отрезка j, Вт/(м^2 · К);

$T_{\mathrm{u},j}$ — окружающая температура для отрезка j, К.

Для суммарного коэффициента теплоотдачи путем конвекции и конденсации $\alpha_{\mathrm{itot},j}$ и суммарного коэффициента теплопередачи $k_{\mathrm{btot},j}$ применяют следующие формулы

$$\alpha_{\mathrm{iotot},j} = \alpha_{\mathrm{io},j} + \alpha_{\mathrm{ioK},j} \tag{154}$$

$$k_{\mathrm{obtot},j} = \frac{1}{\dfrac{1}{\alpha_{\mathrm{iotot},j}} + \left(\dfrac{1}{\Lambda}\right) + \dfrac{D_{\mathrm{h}}}{D_{\mathrm{ha}} \cdot \alpha_{\mathrm{a}}}}, \tag{155}$$

где $\alpha_{\mathrm{iotot},j}$ — суммарный коэффициент теплоотдачи за счет конвенции и конденсации на выходе из отрезка j, Вт/(м^2 · К);

$\alpha_{\mathrm{io},j}$ — коэффициент конвективной теплоотдачи отрезка j (см. раздел 5 или 7, расчет $T_{\mathrm{ob},j}$), Вт/(м^2 · К);

$\alpha_{\mathrm{ioK},j}$ — коэффициент теплоотдачи за счет конденсации на выходе из отрезка j, Вт/(м^2 · К);

$k_{\mathrm{obtot},j}$ — суммарный коэффициент теплопередачи на выходе из отрезка j при температуре равновесия, Вт/(м^2 · К);

$\frac{1}{\Lambda}$ — термическое сопротивление, м^2·К/Вт;

D_{h} — внутренний гидравлический диаметр, м;

D_{ha} — наружный гидравлический диаметр, м;

α_{a} — коэффициент теплоотдачи снаружи, Вт/(м^2 · К).

Для коэффициента теплоотдачи путем конденсации $\alpha_{\mathrm{iK},j}$, применяют следующую формулу

$$\alpha_{\mathrm{iK},j} = \frac{q_{\mathrm{K},j} \cdot N_{\mathrm{seg}}}{l_{\mathrm{c},j} \cdot U \cdot L \cdot \left(T_{\mathrm{ob},j} - T_{\mathrm{iob},j}\right)}, \tag{156}$$

с учетом

$$l_{\mathrm{c},j} = 1 \text{ для } j > N_{\mathrm{segK}}$$

или

$$N_{\mathrm{segK}} = 1 \text{ и } T_{\mathrm{iob},0} \le T_{\mathrm{pe},1} \tag{157}$$

и

$$l_{\mathrm{c},j} = \frac{T_{\mathrm{pe},1} - T_{\mathrm{iob},j}}{T_{\mathrm{iob},j-1} - T_{\mathrm{iob},j}} \text{ для } j = N_{\mathrm{segK}} \text{ и } N_{\mathrm{segK}} > 1 \tag{158}$$

или

$$N_{\mathrm{segK}} = 1 \text{ и } T_{\mathrm{iob},0} > T_{\mathrm{pe},1},$$

где $\alpha_{\mathrm{iK},j}$ — теплоотдача путем конденсации между дымовыми газами и внутренней поверхностью отрезка j, Вт/(м^2 · К);

$q_{\mathrm{K},j}$ — теплота конденсации отрезка j, Вт;

N_{seg} — количество отрезков;

$l_{\mathrm{c},j}$ — доля поверхности конденсации отрезка j;

U — внутренний периметр, м;

L — длина дымовой трубы, м;

$T_{\mathrm{pe},1}$ — температура точки росы на входе в первый отрезок, К;

$T_{\mathrm{iob},N_{\mathrm{segK}}}$ — температура внутренней поверхности на выходе из отрезка N_{segK} при температуре равновесия, К.

Для теплоты конденсации отрезка j $q_{K,j}$, Вт, применяют следующую формулу:

$$q_{K,j} = \Delta\dot{m}_{D,j} \cdot r_D, \tag{159}$$

где $\Delta\dot{m}_{D,j}$ — массовый поток конденсата в отрезке j, кг/с;

r_D — скрытая теплота парообразования водяных паров, Дж/кг; принимают r_D = 2 400 000.

Для расчета массового потока конденсата $\Delta\dot{m}_{D,j}$, кг/с, применяют следующую формулу:

$$\Delta\dot{m}_{D,j} = \dot{m} \cdot \frac{R}{R_D} \cdot \left(1 - \frac{p_D}{p_L}\right) \cdot \left(\frac{p_{Do,j-1}}{p_L - p_{Do,j-1}} - \frac{p_{Do,j}}{p_L - p_{Do,j}}\right) \cdot \frac{f_K}{100}, \tag{160}$$

где

$$p_{Do,j} = e^{\left(23{,}6448 - \frac{4077{,}9}{T_{iob,j} - 36{,}48}\right)}, \tag{161}$$

где $\dot{m}$ — 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;

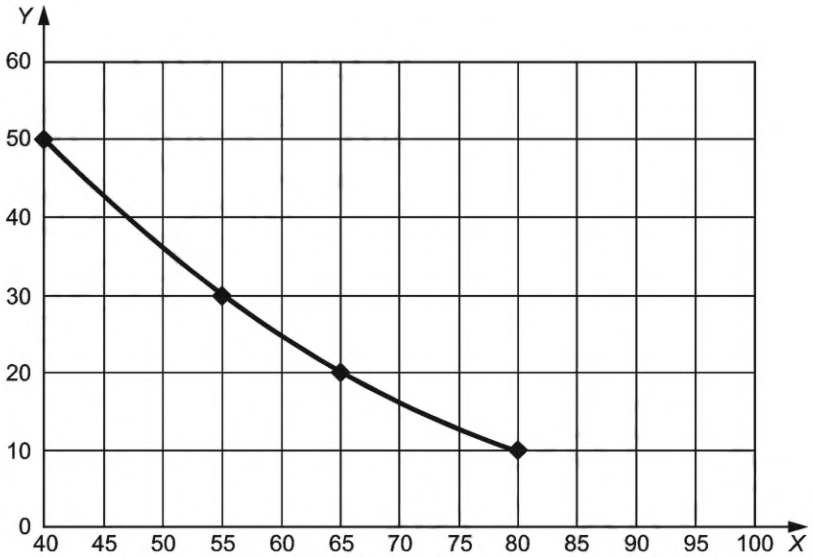
p_L — давление наружного воздуха, Па;

f_K — коэффициент конденсации соответствующей части системы удаления дымовых газов, %;

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

Для определения $f_{K,\,\%}$, используют формулы (162) и (163), а также рисунок 2.

Для f_K следует использовать температуру дымовых газов T_e на входе в конструкцию удаления дымовых газов. Если в соединительном элементе уже имеет место конденсация, то для этой части f_{KV} следует использовать температуру дымовых газов источника тепла T_W.



$X - t_e$ 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

$$f_{KV} = 132{,}7 - 2{,}6 \cdot t_W + 0{,}0133 \cdot t_W^2, \tag{162}$$

и

$$f_K = 132{,}7 - 2{,}6 \cdot t_e + 0{,}0133 \cdot t_e^2, \tag{163}$$

где t_W — температура дымовых газов источника тепла, °C;

t_e — температура дымовых газов на входе в конструкцию для удаления дымовых газов, °C.

Эту формулу можно использовать для 40 °C ≤ t_W ≤ 80 °C и 40 °C ≤ t_e ≤ 80 °C.

Для t_W < 40 °C коэффициент f_{KV} = 50 % и для t_e < 40 °C коэффициент f_K = 50 %.

Для расчета массового потока дымовых газов $\dot{m}_{o,j}$ на выходе из отрезка j применяют следующую формулу:

$$\dot{m}_{o,j} = \dot{m}_{o,j-1} - \Delta\dot{m}_{D,j}, \tag{164}$$

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.

Для пересчитанной температуры дымовых газов $T_{ob,j}$, К, на выходе из отрезка j применяют формулу

$$T_{ob,j} = \frac{\left(\frac{\dot{m}_{o,j-1}\cdot c_{po,j-1}}{\dot{m}_{o,j}\cdot c_{po,j}} - \frac{K_{b,j}}{2}\right)\cdot T_{ob,j-1} + \frac{q_{K,j}}{\dot{m}_{o,j}\cdot c_{po,j}} + K_{b,j}\cdot T_{u,j}}{1+\frac{K_{b,j}}{2}}, \tag{165}$$

в которой

$$K_{b,j} = \frac{U\cdot k_{btot,j}\cdot L}{\dot{m}_{o,j}\cdot c_{po,j}\cdot N_{seg}}, \tag{166}$$

где $$k_{btot,j} = \left(1-l_{c,j}\right)\cdot k_{b,j-1} + l_{c,j}\cdot k_{botot,j} \text{ для } j = N_{seg} \tag{167}$$

или

$$k_{btot,j} = \frac{k_{botot,j-1} + k_{botot,j}}{2} \text{ для } j > N_{seg}, \tag{168}$$

где $\dot{m}_{o,j}$ — 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;

$T_{ob,j-1}$ — температура дымовых газов на выходе из отрезка j минус 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/(м^2 · 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 минус 1 при температуре равновесия, Вт/(м^2 · К);

$k_{botot,j}$ — суммарный коэффициент теплопередачи на выходе из отрезка j при температуре равновесия, Вт/(м^2 · К).

Для увеличения точности итерации применяют следующее выражение

$$|q_{A,j} - q_{C,j}| \le 0{,}2q_{A,j}, \tag{169}$$

с

$$q_{A,j} = \dot{m}_{o,j}\cdot c_{po,j-1}\cdot T_{ob,j-1} - \dot{m}_{o,j}\cdot c_{po,j}\cdot T_{ob,j} + q_{K,j}, \tag{170}$$

$$q_{C,j} = \frac{\alpha_{itot,j}\cdot U\cdot L}{N_{seg}}\cdot\frac{T_{ob,j-1} - T_{iob,j-1} + T_{ob,j} - T_{iob,j}}{2}, \tag{171}$$

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;

$\dot{m}_{o,j}$ — 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);

$T_{ob,j}$ — 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 теплоотдачи вследствие конвекции и конденсации на выходе из отрезка j, Вт/(м^2 · К);

U — внутренний периметр, м;

L — длина конструкции для удаления дымовых газов, м;

N_{seg} — количество отрезков;

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

Для системы «воздух—дымовые газы» (LAS) конструкций для удаления дымовых газов с концентрическими шахтами могут быть использованы формулы (140)—(170) со следующими изменениями:

- вместо $T_{u,j}$ используют $T_{mbB,j}$;
- 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.

9 Учет вентиляторов для удаления дымовых газов

9.1 Общие положения

Вытяжные вентиляторы следует учитывать при расчете систем удаления продуктов сгорания только в том случае, если:

- работу вентилятора контролирует устройство безопасности, которое отключает «источник тепла» в случае отказа вентилятора, или
- есть достаточные доказательства того, что работа «источника тепла» остается безопасной в случае отказа вентилятора.

Прирост давления, создаваемый вытяжным вентилятором, P_{Fan}, следует рассчитывать с помощью следующих формул:

$$P_{Fan} = \left[c_0 + c_1 \cdot \dot{V}_{Fan} + c_2 \cdot \dot{V}_{Fan}^2 \cdot c_3 \cdot \dot{V}_{Fan}^3 + c_4 \cdot \dot{V}_{Fan}^4 \right] \cdot \frac{\rho_{Fan}}{1,2}, \quad (172)$$

$$\dot{V}_{Fan} = \frac{\dot{m}}{\rho_{Fan}}, \quad (173)$$

$$\rho_{Fan} = \frac{p_L}{R \cdot T_{Fan}}, \quad (174)$$

где c_0 — характеристика вытяжного вентилятора (см. [2]), Па;

c_1 — характеристика вытяжного вентилятора (см. [2]), Па/(м^3/с);

c_2 — характеристика вытяжного вентилятора (см. [2]), Па/(м^3/с)^2;

c_3 — характеристика вытяжного вентилятора (см. [2]), Па/(м^3/с)^3;

c_4 — характеристика вытяжного вентилятора (см. [2]), Па/(м^3/с)^4;

$\dot{V}_{Fan}$ — объемный расход дымовых газов на вытяжном вентиляторе, м^3/с;

ρ_{Fan} — плотность дымовых газов у вытяжного вентилятора, кг/м^3;

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

p_L — внешнее давление воздуха (см. 5.7.2), Па;

R — газовая постоянная дымовых газов (см. 5.7.3.2), Дж/(кг · К);

T_{Fan} — температура дымовых газов на входе в вытяжной вентилятор, К.

Характеристики вытяжного вентилятора c_0—c_4 должны быть указаны производителем вентилятора или в документации.

Если вытяжной вентилятор не используется постоянно, расчет должен выполняться без учета прироста давления, создаваемого вытяжным вентилятором, а скорее без учета сопротивления потоку.

9.2 Встроенные вентиляторы

В отличие от уравнения (38), статическое давление в соединительном элементе, P_{HV}, Па, для встроенного вентилятора должно быть рассчитано с использованием следующего уравнения:

$$P_{HV} = H_V \cdot g \cdot (\rho_L - \rho_{mV}) + P_{Fan}, \quad (175)$$

где H_V — действительная высота вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов, м;

g — ускорение свободного падения, g = 9,81 м/с^2;

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

ρ_{mV} — средняя плотность столба дымовых газов в вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов, кг/м^3;

P_{Fan} — прирост давления, создаваемый встроенным вентилятором, Па.

В случае конструкции удаления дымовых газов, работающих в режиме разрежения, необходимо проверить требования, изложенные в 5.2.1, и следующую взаимосвязь:

$$P_{Ze} \geq P_{B,} \tag{176}$$

где P_{Ze} — минимально необходимое разрежение на входе дымовых газов в конструкцию для удаления дымовых газов, Па;

P_B — сопротивление притоку воздуха, Па.

Примечание — При необходимости мощность встроенного вентилятора должна быть соответственно уменьшена.

В случае конструкции для удаления дымовых газов с избыточным давлением необходимо проверить требования, изложенные в 5.2.2, и следующую взаимосвязь:

$$P_{ZOe} + P_{FV} \leq P_{Z\ excess}, \tag{177}$$

где P_{ZOe} — максимально допустимое избыточное давление на дымовые газы в вертикальный отрезок конструкции для удаления дымовых газов, Па;

P_{FV} — необходимое давление для преодоления сопротивления соединительного элемента, Па;

$P_{Z\ excess}$ — максимально допустимое давление из обозначения соединительного элемента, Па.

Примечание — При необходимости мощность встроенного вентилятора должна быть соответственно уменьшена.

Прирост давления, создаваемый встроенным вентилятором, P_{Fan} следует рассчитывать в соответствии с формулой (172) и следующим соотношением

$$T_{Fan} = T_W, \tag{178}$$

где T_{Fan} — температура дымовых газов на входе встроенного вентилятора, К;

T_W — температура дымовых газов источника тепла, К.

9.3 Дымосос

В отличие от формулы (31), теоретическое разрежение вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов со встроенным дымососом P_H, Па, следует рассчитывать с использованием следующей формулы

$$P_{HV} = H_V \cdot g \cdot (\rho_L - \rho_m) + P_{Fan}, \tag{179}$$

где H_V — действительная высота вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов, м;

g — ускорение свободного падения, g = 9,81 м/с^2;

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

ρ_m — средняя плотность столба дымовых газов в вертикальной части конструкции для удаления дымовых газов, кг/м^3;

P_{Fan} — прирост давления, создаваемый дымососом, Па.

Прирост давления, создаваемый дымососом, P_{Fan}, следует рассчитывать в соответствии с формулой (172) и следующим соотношением:

$$T_{Fan} = T_O, \tag{180}$$

где T_{Fan} — температура дымовых газов на входе дымососа, К;

T_O — температура дымовых газов на выходе из устья конструкции для удаления дымовых газов, К.

Приложение А
(справочное)

Вычисление термического сопротивления

Термическое сопротивление конструкции для удаления дымовых газов $\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_n$ можно определить, зная коэффициенты теплопроводности материалов, из которых изготовлена конструкции для удаления дымовых газов, его следует вычислять по формуле

$$\left(\frac{1}{\Lambda}\right) = y \cdot \sum_n \left[\frac{D_h}{2 \cdot \lambda_n} \cdot \ln\left(\frac{D_{h,n+1}}{D_{h,n}}\right)\right], \quad (A.1)$$

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 *ГОСТ Р 59376*.

Примечание — Метод расчета теплопроводности как функции температуры приведен в приложении А стандарта [3].

Приложение В
(справочное)

Таблицы

Таблица В.1 — Данные для определения массового потока дымовых газов $\dot{m}$, удельной газовой постоянной R, удельной теплоемкости c_p, температуры точки росы водяных паров 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	$V_{Atr\ min}$, м^3/кг или м^3/м^3	V_{L_min}, м^3/кг или м^3/м^3	V_{H_2O}, м^3/кг или м^3/м^3	$\sigma(CO_2)_{max}$, %	$\sigma(SO_2)_{max}$, %	f_{m1}, г %/ (кВт · с)	f_{m2}, г/ (кВт · с)	f_{m3}, г/ (кВт · с)	f_R без конденсации, 1/%	f_R с конденсацией, 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	0,001	–0,0036	–0,0038	0,0036	–0,0040	3,4	0,014	–0,000014	0,0046	1235	99	7
Каменный уголь (антрацит)	9,24	8,37	8,55	0,44	19,05	0,10	6,23	0,036	0,007	–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	0,005	–0,0014	–0,0026	0,0037	–0,0040	10,3	0,015	–0,000012	0,0083	149	80	7
Тяжелый мазут < 4 % S	9,43	9,91	10,48	1,15	16,17	0,28	6,14	0,052	0,022	–0,0012	–0,0024	0,0037	–0,0039	10,7	0,014	–0,000012	0,0082	142	94	7
Тяжелый мазут < 2 % S	9,61	10,06	10,67	1,21	16,15	0,14	6,11	0,052	0,023	–0,001	–0,0023	0,0037	–0,0038	11,0	0,014	–0,000011	0,0083	137	89	7
Тяжелый мазут < 1 % S	9,74	10,17	10,79	1,25	16,09	0,07	6,07	0,052	0,023	–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	0,023	–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	0,023	–0,0002	–0,0018	0,0038	0,0036	13,0	0,014	–0,000011	0,0093	111	0	0
Природный газ H	10,03	8,67	9,57	1,86	12,00	0,00	3,75	0,053	0,032	0,003 2	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	0,030	0,003 3	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	0,028	0,001 3	–0,0009	0,0038	–0,0035	17,6	0,015	–0,000009	0,0116	77	0	0
Древесина (влажность 30 %)	3,7	3,44	3,45	0,80	20,50	0,00	6,89	0,076	0,001	0,000 1	–0,0018	0,0038	–0,0041	15,4	0,016	–0,000011	0,0111	90	0	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	$V_{Atr\,min}$, м^3/кг или м^3/м^3	$V_{L,min}$, м^3/кг или м^3/м^3	V_{H_2O}, м^3/кг или м^3/м^3	$\sigma(CO_2)_{max}$, %	$\sigma(SO_2)_{max}$, %	f_{m1}, г %/ (кВт · с)	f_{m2}, г/ (кВт · с)	f_{m3}, г/ (кВт · с)	f_R без конден-сации, 1/%	f_R с конден-сацией, 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
Древеси-на (влаж-ность 50 %)	3,12	2,98	2,99	0,86	20,50	0,00	7,08	0,090	0,001	0,001	–0,0013	0,0038	–0,0042	18,5	0,016	–0,000010	0,0128	72	0	0
Дре-весные пеллеты	5,27	4,78	4,81	0,78	20,31	0,00	6,66	0,060	0,002	–0,001	–0,0024	0,0037	–0,0041	11,6	0,015	–0,000012	0,0091	127	0	0

f_{m1} — коэффициент для расчета массового потока дымовых газов, г%/(кВт · с);
f_{m2} — коэффициент для расчета массового потока дымовых газов, г/(кВт · с);
f_{m3} — коэффициент для расчета массового потока воздуха для горения, г/(кВт · с);
f_R — коэффициент для расчета газовой постоянной дымовых газов, 1/%;
f_{c0} — коэффициент для расчета удельной теплоемкости дымовых газов, Дж/(кг · К%);
f_{c1} — коэффициент для расчета удельной теплоемкости дымовых газов, Дж/(кг · К$_2$%);
f_{c2} — коэффициент для расчета удельной теплоемкости дымовых газов, Дж/(кг · К$_3$%);
f_{c3} — коэффициент для расчета удельной теплоемкости дымовых газов, 1/%;
f_{R1} — коэффициент для расчета газовой постоянной дымовых газов, если известно содержание водяного пара в дымовых газах, 1/%;
f_{R2} — коэффициент для расчета газовой постоянной дымовых газов, если известно содержание водяного пара в дымовых газах, 1/%;
f_w — коэффициент для расчета содержания водяного пара в дымовых газах, %;
f_{s1} — коэффициент для расчета повышения точки росы, К;
f_{s2} — коэффициент для расчета повышения точки росы, К;
H_u — теплотворная способность топлива, кВт · ч/кг или кВт · ч/м^3;
$V_{Atr\,min}$ — соотношение минимального объема сухих дымовых газов и массы или объема топлива при нормальных условиях (273,15 К, 101 325 Па), м^3/кг и м^3/м^3;
$V_{L\,min}$ — соотношение минимального объема воздуха, подаваемого на горение, и массы или объема топлива при нормальных условиях (273,15 К, 101 325 Па), м^3/кг и м^3/м^3;
V_{H2O} — соотношение объема водяного пара в дымовых газах и массы или объема топлива при нормальных условиях (273,15 К, 101 325 Па), м^3/кг и м^3/м^3;
$\sigma(CO_2)_{max}$ — максимальное содержание углекислого газа в сухих дымовых газах, %;
$\sigma(SO_2)_{max}$ — максимальное содержание сернистого газа в сухих дымовых газах, %.

Окончание таблицы В.1

Приближенные формулы:

$$\dot{m} = \left(\frac{\dot{f}_{m1}}{\sigma(CO_2)} + f_{m2} \right) \cdot Q_F \quad (B.1)$$

$$Q_F = \frac{100}{\eta_W} \cdot Q \quad (B.2)$$

$$R = R_L \cdot (1 + f_R \cdot \sigma(CO_2)) \quad (B.3)$$

$$C_p = \frac{1011 + 0{,}05 \cdot t_m + 0{,}0003 t_m^2 + \left(f_{c0} + f_{c1} \cdot t_m + f_{c2} \cdot t_m^2 \right) \cdot \sigma(CO_2)}{1 + f_{c3} \cdot \sigma(CO_2)} \quad (B.4)$$

$$\sigma(H_2O) = \frac{100}{1 + \frac{f_W}{\sigma(CO_2)}} + 1{,}1 \quad (B.5)$$

$$p_D = \frac{\sigma(H_2O)}{100} \cdot p_L \quad (B.6)$$

$$t_p = \frac{4077{,}9}{23{,}6448 - \ln(p_D)} - 236{,}67 \quad (B.7)$$

$$\Delta T_{sp} = f_{s1} + f_{s2} \cdot \ln(K_f) \quad (B.8)$$

$$\lambda_A = 0{,}0223 + 0{,}000065 \cdot t_m \quad (B.9)$$

$$\eta_A = 15 \cdot 10^{-6} + 47 \cdot 10^{-9} \cdot t_m - 20 \cdot 10^{-12} \cdot t_m^2 \quad (B.10)$$

$$R = R_L \cdot \left\{ 0{,}996 + f_{R1} \cdot \sigma(H_2O) + f_{R2} \cdot \left[1 - \frac{\sigma(H_2O)}{100} \right] \cdot \sigma(CO_2) \right\} \quad (B.11)$$

$$\sigma(H_2O) = \frac{p_D}{p_L} \cdot 100 \quad (B.12)$$

$$p_D = e^{\left(23{,}664 - \frac{4077{,}9}{T_p - 36{,}48} \right)} \quad (B.13)$$

$$\dot{m}_B = \left[\frac{f_{m1}}{\sigma(CO_2)} + f_{m3} \right] \cdot Q_F \quad (B.14)$$

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

$\dot{m}_B$ — массовый поток воздуха для горения, г/с;

$\sigma(CO_2)$ — содержание углекислого газа в сухих дымовых газах, %;

Q_F — мощность горения источника тепла, кВт;

Q — тепловая мощность источника тепла, кВт;

η_W — КПД источника тепла, %;

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;

$\sigma(H_2O)$ — содержание водяного пара в дымовых газах, %;

$p_д$ — 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, Вт/(м · К);

η_A — динамическая вязкость дымовых газов, Н · с/м^2.

Примечание — «f_R без конденсации» следует использовать для дымовых труб, эксплуатируемых в сухих условиях, «f_R с конденсацией» следует использовать для конструкций удаления дымовых газов, эксплуатируемых во влажных условиях.

Таблица В.2 — Данные для теплогенераторов

Топливо	Формула для P_W, η_W и σ(CO2)
Кокс, каменный уголь, бурый уголь в брикетах	$P_W = \begin{cases} 15 \lg Q_N, \text{ Па для } Q_N \le 100 \text{ кВт} \\ -70 + 50 \cdot \lg Q_N, \text{ Па для } 100 \text{ кВт} < Q_N \le 1000 \text{ кВт} \\ 80 \text{ Па для } Q_N > 1000 \text{ кВт} \end{cases}$
	$\eta_W = 68{,}65 + 4{,}35 \cdot \lg Q_N$, % для $Q_N \le 2000$ кВт
	$\sigma(CO_2) = \begin{cases} 9{,}5 \text{ % для } Q_N \le 1000 \text{ кВт} \\ 4{,}1 + 2{,}7 \lg Q_N \text{ % для } 100 \text{ кВт} < Q_N \le 2000 \text{ кВт} \end{cases}$
Древесина	$P_W = \begin{cases} 15 \lg Q_N \text{ Па для } Q_N \le 50 \text{ кВт} \\ 27 + 13 \lg Q_N \text{ Па для } 10 \text{ кВт} < Q_N \le 350 \text{ кВт} \\ \text{специальные котлы} \end{cases}$
	$\eta_W = 67 + 6 \cdot \lg Q_N$, % для $Q_N \le 1000$ кВт
	$\sigma(CO_2) = \begin{cases} 8{,}0 \text{ % для } Q_N \le 100 \text{ кВт} \\ 6{,}0 + 2{,}0 \lg Q_{N\%} \text{ для } 10 \text{ кВт} < Q_N \le 1000 \text{ кВт} \end{cases}$
Нефть и газ (с дутьевой горелкой или без дутьевой горелки)	$P_W = \begin{cases} 15 \lg Q_N, \text{ Па для } Q_N \le 100 \text{ кВт} \\ 47 + 38{,}5 \lg Q_N, \text{ Па для } Q_N > 100 \text{ кВт} \end{cases}$
	$\eta_W = \begin{cases} 85 + 1{,}0 \lg Q_N \text{ % для } Q_N \le 1000 \text{ кВт} \\ 88{,}0 \text{ % для } Q_N > 1000 \text{ кВт} \end{cases}$
	$\sigma(CO_2) = \begin{cases} \dfrac{f_{x1}}{1 - f_{x2} \lg Q_N} \text{ % для } Q_N \le 100 \text{ кВт} \\ f_3 \text{ % для } Q_N > 100 \text{ кВт} \end{cases}$

Таблица В.3 — Данные для определения $\sigma(CO_2)$ в соответствии с таблицей В.2 при использовании мазутных и газовых горелок

Топливо	Горелки с принудительной тягой			Горелки с естественной тягой[a]		
	f_{x1}	f_{x2}	f_{x3}	f_{x1}	f_{x2}	f_{x3}
Жидкое топливо	11.2	0,076	13,2	—	—	—
Природный газ	8,6	0,078	10,2	5,1	0,075	6,0
Сжиженный газ	10	0,080	11,9	5,9	0,079	7,0
[a] Значения после стабилизатора потока.						

Таблица В.4 — Типичные значения средней шероховатости r для некоторых строительных материалов/строительных компонентов конструкции

Материал внутренней трубы конструкции для удаления дымовых газов	Типичные значения средней шероховатости r, м
Сварная сталь	0,0010
Стекло	0,0010
Полимер	0,0010
Алюминий	0,0010
Керамические трубы	0,0015
Шамотные фасонные элементы	0,0050
Металлические листы с фальцем	0,0020

Окончание таблицы В.4

Материал внутренней трубы конструкции для удаления дымовых газов	Типичные значения средней шероховатости *r*, м
Цементно-волокнистый бетон	0,0030
Каменная кладка	0,0050
Гнутый листовой металл	0,0050

Таблица В.5 — Коэффициент теплопроводности λ, плотности ρ и удельной теплоемкости с некоторых материалов, используемых в конструкциях для удаления дымовых газов

Материал	ρ, кг/м^3	λ, Вт/(м · К) для температур				ε
		20 °С	100 °С	200 °С	300 °С	
Алюминий	2800	160	160	160	—	0,3
Сталь	7800	50	50	50	50	0,6
Нержавеющая сталь	7900	17	17	17	17	0,1
Каменная кладка Полнотелый кирпич, плотно структурированный вертикально-перфорированный кирпич, опалубочные блоки	1200	0,6	0,63	0,66	—	0,9
	1600	0,82	0,86	0,90	—	—
	2000	1,15	1,2	1,26	—	—
Кирпич перфорированный с классом перфорации А и Б	600	0,40	0,44	0,50	—	0,9
	800	0,47	0,52	0,59	—	—
	1000	0,30	0,33	0,36	—	—
Силикатный кирпич, плотный легкий бетон	1000	0,30	0,33	0,36	—	0,7
	800	0,47	0,51	0,55	—	0,9
	1200	0,74	0,81	0,87	—	—
	1600	1,20	1,32	1,42	—	—
	2000	1,92	2,11	2,26	—	—
Беспористый легкий бетон	800	0,34	0,37	0,40	—	0,9
	1200	0,55	0,60	0,65	—	—
	1600	0,90	0,97	1,06	—	—
	2000	1,44	1,55	1,70	—	—
Беспористый легкий бетон (на натуральной основе)	600	0,22	0,24	0,27	—	0,9
	900	0,34	0,38	0,42	—	—
	1200	0,49	0,56	0,61	—	—
Беспористый легкий бетон, только пенобетон	600	0,23	0,26	0,28	—	0,9
	900	0,36	0,40	0,45	—	—
	1200	0,53	0,58	0,66	—	—
	1500	0,72	0,80	0,89	—	—
Керамические внутренние трубы/блоки форм	2000	1,00	1,05	1,10	1,15	0,9
Минеральная вата, рыхлая		0,043	0,080	0,109	0,150	0,9
Минеральная вата, вентилируемая		0,049	0,080	0,109	0,170	0,9
Минеральная вата, панели		0,037	0,053	0,073	0,100	0,9
Минеральная вата, ракушка		0,042	0,049	0,070	0,102	0,9
Вермикулит		0,062	0,076	0,096	0,126	0,9

Окончание таблицы В.5

Материал	ρ, кг/м^3	λ, Вт/(м · К) для температур				ε
		20 °С	100 °С	200 °С	300 °С	
Стекло	2200	1,07	1,20	1,37	—	0,9
ПВДФ (поливинилиденфторид)	1800	0,19	0,19	—	—	0,9
ПП (полипропилен)	900	0,22	0,22	—	—	0,9
Примечание — Эти начальные значения включают коэффициент безопасности 1,2, чтобы учесть производственные допуски.						

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)

Температура поверхности, °С	Термическое сопротивление воздушной прослойки $(1/\Lambda)_n$, м^2 · К/Вт при ширине воздушной прослойки d_n, м				
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
40	0,123	0,147	0,153	0,152	0,150
100	0,087	0,101	0,101	0,100	0,099
150	0,065	0,075	0,075	0,074	0,074
200	0,050	0,055	0,055	0,055	0,054

Примечания

1 Эффективный коэффициент теплопроводности λ_n закрытых воздушных прослоек вычисляют 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;

$(1/\Lambda)_n$ — термическое сопротивление воздушной прослойки, м^2 · К/Вт;

d_n — ширина воздушной прослойки, м.

2 В случае ширины воздушной прослойки более 50 мм и/или температур свыше 200 °С рекомендуется значение 0 при отсутствии подтвержденных альтернативных данных.

Таблица В.7 — Параметры устройств подачи дополнительного воздуха

Группа устройства подачи дополнительного воздуха	α_1, Па · с/кг	α_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

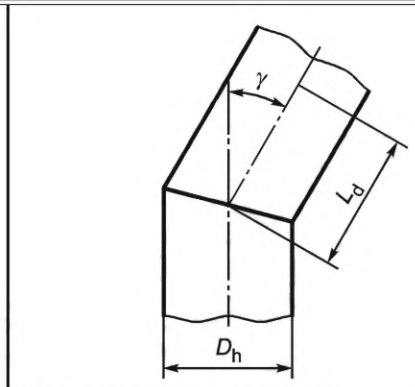
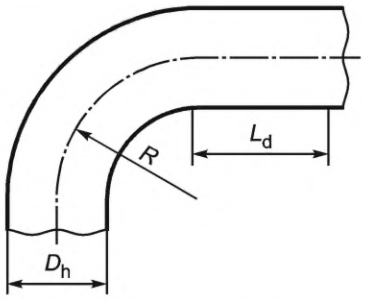
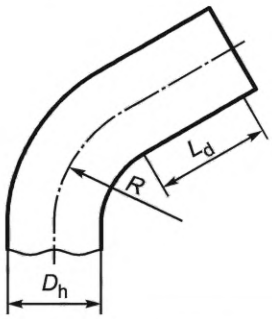
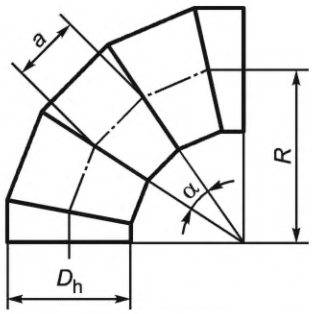
Примечание — Выбор параметров характеристики α_1 и α_2 производят по классификации устройств подачи дополнительного воздуха по шести видам.

Чтобы определить, к какому виду относится регулятор тяги, требуется кривая рабочей характеристики.

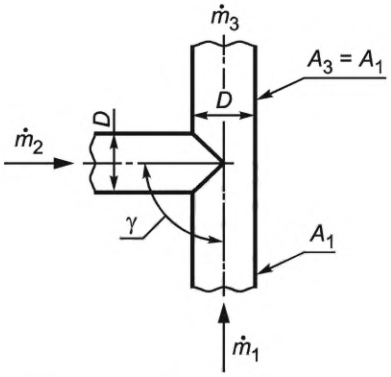
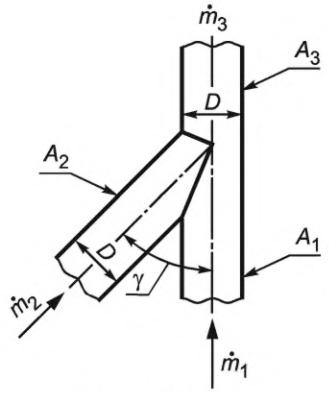
Кривую рабочей характеристики получают, определяя объемный поток, проходящий через регулятор тяги, при трех значениях давления 5, 10 и 40 Па, превышающих номинальное значение входной мощности α_0 [параметр определяют по формулам (56) и (57)].

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 местных сопротивлений для некоторых форм

Номер	Форма	Геометрические размеры	Значение ζ		
1	Отводы 	Угол γ, °	$L_d/D_h \geq 30$	$30 > L_d/D_h \geq 2$	
		10 30 45 60 90	0,1 0,2 0,3 0,5 1,2	0,1 0,3 0,4 0,7 1,6	
2		R/D_h	Отвод 90°		
			$L_d/D_h \geq 30$	$30 > L_d/D_h \geq 2$	
		0,5 0,75 1,0 1,5 2,0	1,0 0,4 0,25 0,2 0,2	1,2 0,5 0,3 0,2 0,2	
3		R/D_h	Отвод 60°		
			$L_d/D_h \geq 30$	$30 > L_d/D_h \geq 2$	
		0,5 0,75 1,0 1,5 2,0	0,6 0,3 0,2 0,2 0,1	1,0 0,4 0,3 0,2 0,1	
4		$\alpha = 2 \cdot R \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ α/D_h	Отвод 90° Количество сегментов		
			2 × 45°	3 × 30°	4 × 22,5°
		1,0 1,5 2,0 3,0 5,0	0,4 0,3 0,3 0,35 0,4	0,25 0,18 0,17 0,19 0,20	0,17 0,13 0,12 0,13 0,15
Допускается интерполяция между приведенными параметрами.					

Продолжение таблицы В.8

Номер	Форма	Геометрические размеры	Значение ζ	
5	Тройники 	Угол γ = 90° $\dot{m}_2 / \dot{m}_3$ $\frac{A_3}{A_2} = 1$	ζ_{2-3}	ζ_{1-3}
		0,0	–0,92	0,03
		0,2	–0,38	0,20
		0,4	0,1	0,35
		0,6	0,53	0,47
		0,8	0,89	0,56
		1,0	1,2	0,62
	 положение: W_3	Угол γ = 45° $\dot{m}_2 / \dot{m}_3$ $\frac{A_3}{A_2} = 1{,}6$	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

Формулы для вычисления коэффициентов сопротивления сборной конструкции[a]:

$$\zeta_{2-3} = -0{,}92\left(1-\frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3}\right)^2 - \left(\frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3}\right)^2\left[1{,}2\left(\frac{A_3}{A_2}\cos\gamma - 1\right) + 0{,}8\left(1-\left(\frac{A_3}{A_2}\right)^2\right) - \left(1-\left(\frac{A_3}{A_2}\right)^{-1}\right)\frac{A_3}{A_2}\cos\gamma\right] + \left(2-\left(\frac{A_3}{A_2}\right)^{-1}\right)\cdot\frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3}\left(1-\frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3}\right)$$

$$\zeta_{1-3} = 0{,}03\left(1-\frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3}\right)^2 - \left(\frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3}\right)^2\left[1+1{,}62\left(\frac{A_3}{A_2}\cos\gamma - 1\right) - 0{,}38\left(1-\left(\frac{A_3}{A_2}\right)^{-1}\right)\right] + \left(2-\left(\frac{A_3}{A_2}\right)^{-1}\right)\cdot\frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3}\left(1-\frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3}\right),$$

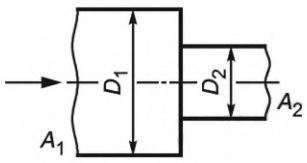
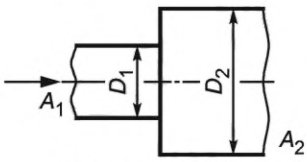
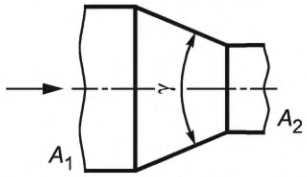
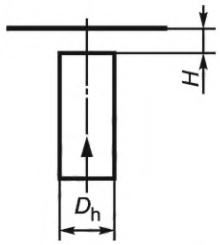
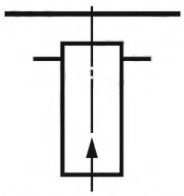
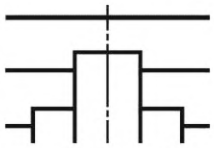
где $\frac{A_3}{A_2} \geq 1$; $0 \leq \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3} \leq 1{,}0$; $0° < \gamma \leq 90°$.

Для $\frac{A_3}{A_2} < 1$ местное сопротивление соединения можно определить как сумму отдельных местных сопротивлений сужения поперечного сечения (см. соответственно № 6 или № 8) и соединения $\frac{A_3}{A_2} = 1$.

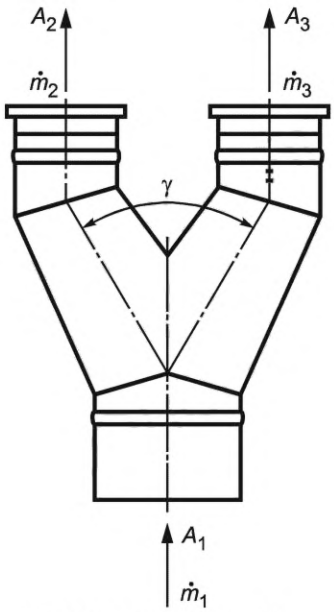
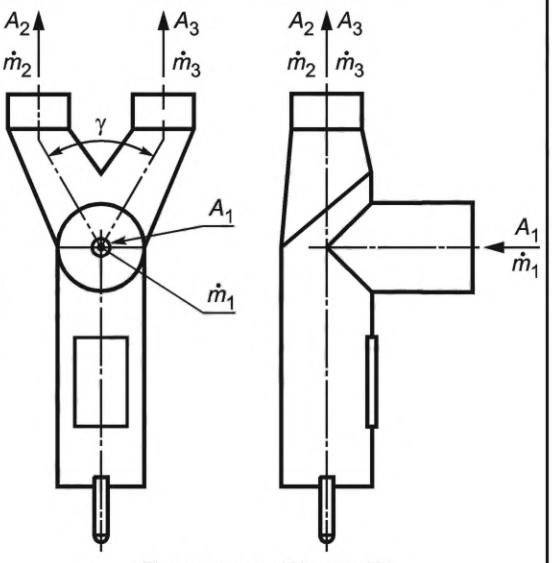
[a] По Гарделю.

Допускается интерполяция между приведенными параметрами.

Продолжение таблицы В.8

Номер		Форма	Геометрические размеры	Значение ζ		
6	Переходники	 Положение: W_2	A_2/A_1 0,4 0,6 0,8	0,33 0,25 0,15 Круглое входное отверстие ζ = 0		
7		 Положение: W_1	**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		 Положение: W_1	**A_2/A_1** 0,10 0,25 0,45 1,0	γ = 30° 0,05 0,04 0,05 0,0	γ = 60° 0,08 0,07 0,07 0,0	γ = 90° 0,19 0,17 0,14 0,0
9	Защитные зонтики		H/D_h 0,5 1,0	1,5 1,0		
10	Оголовки	 Оголовок дымовой трубы (P_L = 0) в соответствии с *ГОСТ Р 59375.1*	—	1,5		
11		 Аэродинамический оголовок дымовых труб положительного давления и источника тепла с закрытой камерой сгорания (P_L = 0) в соответствии с *ГОСТ Р 59375.1*	—	5,2 ($\zeta_{вход}$ = 3,2) ($\zeta_{выход}$ = 2,0)		

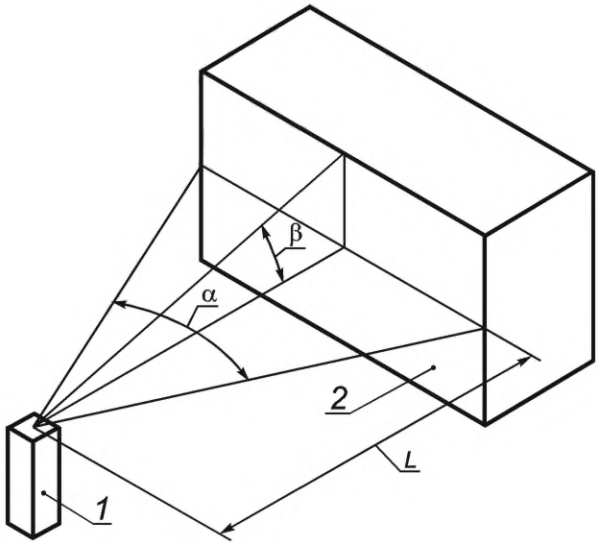
Окончание таблицы В.8

Номер		Форма	Геометрические размеры	Значение ζ
12	Разделители потоков	 Положение: W_2 или W_3	$\gamma \approx 60°$ $\frac{A_3}{A_2} = 1$ $\frac{A_3}{A_1} = 0,5$ $\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_2} = 1$ $\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} = 0,5$	0,5
13		 Положение: W_2 или W_3	$\gamma \approx 60°$ $\frac{A_3}{A_2} = 1$ $\frac{A_3}{A_1} = 0,5$ $\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_2} = 1$ $\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} = 0,5$	2,6

Примечание — На основании имеющихся данных в этой таблице рассматриваются только неконцентрические фитинги. Значения зазора для концентрических фитингов должны быть указаны производителем или в справочной литературе. В первом приближении значения зазора для неконцентрических фитингов можно также использовать для концентрических фитингов.

Приложение С
(справочное)

Расположение устья конструкции для удаления дымовых газов относительно близлежащих строений



1 — конструкции для удаления дымовых газов; *2* — строение

Рисунок С.1 — Расположение выхода дымовой трубы

Считается, что близлежащие строения оказывают воздействие на устье конструкции для удаления дымовых газов в тех случаях, когда:

- расстояние по горизонтали *L* между устьем и строением менее 15 м;
- протяженность строения, если смотреть с позиции устья конструкции для удаления дымовых газов в горизонтальной плоскости, составляет угол α не более чем 30°;
- верхняя граница здания, если смотреть с позиции устья конструкции для удаления дымовых газов, поднимается над горизонтом более чем на 10° (угол β).

Приложение D
(справочное)

Определение газовой постоянной *R* с учетом конденсации

В таблице В.1 в уравнении (В.3) приведен общий метод расчета газовой постоянной *R* дымового газа с использованием коэффициента f_R, который зависит от типа топлива, один раз для значения без учета конденсации и один раз для значения, учитывающего конденсацию. Метод расчета конденсации не делает различий между интенсивностью конденсации и, следовательно, обеспечивает значение для f_R, предполагая относительно высокое значение конденсата. В результате газовая постоянная *R* и статическое давление P_H имеют низкое значение. Ниже приводится метод расчета газовой постоянной *R* с учетом интенсивности конденсации.

Эта процедура основана на расчете теплоты конденсации в соответствии с разделом 8. Чтобы определить газовую постоянную дымовых газов, необходимо выполнить этот расчет с температурой наружного воздуха для условий давления. В отличие от раздела 8, с точки зрения безопасности следует ожидать более высокого уровня конденсата. Поэтому для расчетной части теплоты конденсации для f_K используется значение 100 %. Поскольку этот метод теперь обеспечивает более высокие значения температуры дымовых газов, чем на самом деле, этот метод нельзя использовать для определения температуры дымовых газов в системе удаления продуктов сгорания или в соединителе. Для этого расчета можно использовать раздел 5 или 8. Принимая во внимание уравнение (В.11) в таблице В.1, следующее уравнение применяется для средней газовой постоянной *R* дымового газа:

$$R = \frac{\frac{R_{o,0}}{2} + \sum_{j=1}^{N_{seg}-1} R_{o,j} + \frac{R_{o,N_{seg}}}{2}}{N_{seg}}, \qquad (D.1)$$

где R — средняя газовая постоянная дымового газа, Дж/(кг · К);

$R_{o,0}$ — газовая постоянная дымового газа на входе в первую секцию, Дж/(кг · К);

$R_{o,j}$ — газовая постоянная дымового газа на выходе из j секции, Дж/(кг · К);

$R_{o,N_{seg}}$ — газовая постоянная дымового газа на выходе из последней секции, Дж/(кг · К);

N_{seg} — количество секций.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов европейским стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного национального стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного европейского стандарта
ГОСТ Р 59375.1—2021	MOD	DIN EN 1856-1:2009 «Конструкции для удаления дымовых газов. Требования к металлическим конструкциям для удаления дымовых газов. Часть 1. Строительные компоненты конструкций для удаления дымовых газов»
ГОСТ Р 59376—2022	MOD	DIN EN 1859:2009 «Конструкции для удаления дымовых газов. Металлические конструкции для удаления дымовых газов. Методы испытаний»
ГОСТ Р 59412—2022	MOD	DIN EH 1443:2019 «Конструкции для удаления дымовых газов. Общие требования безопасности»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов: - MOD — модифицированные стандарты.		

Библиография

[1] *CEN/TR 1749:2014* — *Европейское руководство по классификации газовых приборов по типу отвода дымовых газов (типы) (Europäischer Leitfaden für die Klassifizierung von Gasgeräten nach der Art der Abgasabführung (Arten))*

[2] *EH 16475-2:2017* — *Дымоходы. Вспомогательные приспособления. Часть 2. Вытяжные трубные вентиляторы. Требования и методы испытаний (Abgasanlagen — Zubehörteile — Teil 2: Abgasventilatoren — Anforderungen und Prüfmethoden)*

[3] *EH 15287-1:2007+A1:2010* — *Конструкции для удаления дымовых газов. Планирование, монтаж и приемка систем дымоходов. Часть 1. Системы дымоходов для каминов, зависящие от комнатного воздуха (Abgasanlagen — Planung, Montage und Abnahme von Abgasanlagen — Teil 1: Abgasanlagen für raumluftabhängige Feuerstätten)*

[4] *EH 13502:2002* — *Конструкции для удаления дымовых газов. Требования и методы испытаний керамических поверхностей (Abgasanlagen — Anforderungen und Prüfverfahren für Keramik-Aufsätze)*

УДК 66.065.54:006.354 ОКС 27.080

Ключевые слова: устройства для удаления, дымовые газы, металлические конструкции, строительные компоненты, испытания, теплотехнический расчет

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 18.07.2022. Подписано в печать 03.08.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 8,84. Уч.-изд. л. 8,00.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru