



**Федеральное бюджетное учреждение
«Центр лабораторного анализа и технических
измерений по Северо-Западному федеральному
округу»
(ФБУ «ЦЛАТИ по Северо-Западному ФО»)**

Пособие

Отбор проб промышленных выбросов

г. Санкт-Петербург
2013

Данное пособие разработано специалистами ЦЛАТИ по Северо-Западному Федеральному округу при сотрудничестве со специалистами института ВТТ (VTT, Finland) в рамках проекта развития деятельности по измерению промышленных выбросов, реализация которого финансировалась Министерством окружающей среды Финляндии по программе сотрудничества сопредельных территорий.

Предисловие

Осуществление мероприятий по контролю промышленных выбросов является одной из необходимых мер по их снижению. В основе этих мероприятий лежит система государственных и отраслевых стандартов, регламентирующих нормы содержания загрязняющих веществ в выбросах, методы и средства измерения. В настоящее время основной объем данных о количественном составе выбросов в атмосферу получают на основе измерений с помощью инструментально-лабораторных методик или газоанализаторов.

Особое внимание уделяется процедуре отбора проб загрязняющих веществ в выбросах, т.к. именно этот этап работы при неправильном его выполнении может вносить основную погрешность в результат измерения.

Настоящее пособие предназначено для оказания практической помощи организациям и учреждениям, осуществляющим контроль за соблюдением нормативов предельно допустимых выбросов и проверке эффективности газоочистного оборудования. Пособие создано с целью установить единые подходы к отбору проб промышленных выбросов на основе российских и зарубежных стандартов, а так же опыте специалистов ЦЛАТИ.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	4
2. КАК ОПРЕДЕЛИТЬ ВЫБРОС ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ.....	8
3. МЕСТО ОТБОРА ПРОБ В ГАЗОХОДЕ.....	11
3.1. Измерительное сечение, выбор места отбора проб.....	11
3.2. Штуцера для отбора проб.....	12
3.3. Площадка для отбора проб.....	13
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И ОБЪЕМНОГО РАСХОДА ГАЗОВОГО ПОТОКА.....	14
4.1. Размещение точек измерения по сечению газохода.....	14
4.2. Газонапорные трубки.....	18
4.3. Разметка напорной трубки для измерения скорости газового потока.....	20
5. ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ В ГАЗОХОДЕ.....	26
5.1. Краткое изложение метода отбора проб пыли (взвешенных).....	26
5.2. Последовательность измерений характеристик газового потока для подготовки к отбору проб.....	27
5.3. Изокинетичный отбор проб и отклонения от него.....	30
5.4. Определение плотности газа при сжигании различного вида топлива.....	31
5.5. Особенности отбора проб пыли.....	32
5.6. Время отбора проб.....	34
5.7. Влияющие факторы на результаты определения концентрации пыли.....	34
6. АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ.....	35
6.1. Устройства для определения скорости, температуры, давления и состава пылегазового потока.....	35
6.2. Аппаратура для отбора проб.....	35
6.3. Материалы для извлечения твердых частиц.....	41
6.4. Устройства для кондиционирования и взвешивания.....	41
7. ПРОЦЕДУРЫ ОТБОРА ПРОБ И ВЗВЕШИВАНИЯ.....	42
7.1. Общие положения.....	42
7.2. Процедура взвешивания.....	43
7.3. Отбор проб.....	45
 <u>Приложение 1</u>	
Альтернативный (быстрый) способ вычисления скорости расхода аспиратора для изокинетичного отбора проб.....	50
 <u>Приложение 2</u>	
Нестационарность выбросов загрязняющих веществ.....	52

Введение

Настоящее пособие разработано на основе международного стандарта ISO 9096:2003 (ГОСТ ИСО 9096-2006), госстандарта ГОСТ Р 50820-95, европейского стандарта EN 13284-1 и финского стандарта SFS 3866 - для определения выбросов загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения.

Пособие разработано для практической помощи лабораториям в измерениях промышленных выбросов, дающую полную последовательность работ: от подготовки к измерениям до получения конечного результата выбросов загрязняющих веществ. Пособие может быть дополнено методиками и другими разработками в области промышленных выбросов.

1. Термины и определения

В настоящей методике применены следующие термины и определения:

1.1 твердые частицы - пыль (particles - dust): Частицы любой формы, структуры и плотности, распределенные в газовой фазе в условиях отбора проб.

Примечания

1 В приведенном методе все соединения, которые могут быть собраны путем фильтрования в заданных условиях после представительного отбора проб анализируемого газа и которые остаются выше по потоку от фильтра и на нем после осушки в заданных условиях, рассматривают как пыль (или твердые частицы). Однако в некоторых национальных стандартах определение твердых частиц может быть расширено и охватывать конденсаты или продукты реакций, осаждающиеся на фильтре в заданных условиях (например, при температурах ниже температуры отходящего пылегазового потока).

2 В настоящем методе под твердыми частицами понимают то вещество, которое собрано в системе отбора проб на фильтре и перед ним в заданных температурных условиях.

1.2 концентрация взвешенных (concentration of particles) - масса взвешенных частиц в единице объема газа при определенной температуре и объеме газа.

1.3 выброс взвешенных (emission of particles): масса взвешенных, проходящих через трубу за единицу времени.

1.3 фильтрование внутри газохода (in-stack filtration): Фильтрование с помощью фильтра, укрепленного в фильтродержателе, находящемся в газоходе непосредственно ниже по потоку от насадки для отбора проб.

1.4 фильтрование за пределами газохода (out-stack filtration): Фильтрование с помощью фильтра, укрепленного в подогреваемом фильтродержателе, находящемся за пределами газохода ниже по потоку от насадки для отбора проб и всасывающего патрубка (зонда для отбора проб).

1.5 изокинетический отбор проб (isokinetic sampling): Отбор пробы при котором скорость и направление газа входящего в насадку пробоотборной трубки (v_n) совпадает со скоростью газа в газоходе в точке отбора (v_s). (см. рисунок 1).

Примечание - Отношение скоростей v_n/v_s , выраженное в долях, характеризует отклонение от условия изокINETИЧНОСТИ отбора проб. (*проба пыли, отобранная при соотношении v_n/v_s от 0,95 до 1,15 - считается отобранной изокINETИЧНО*)

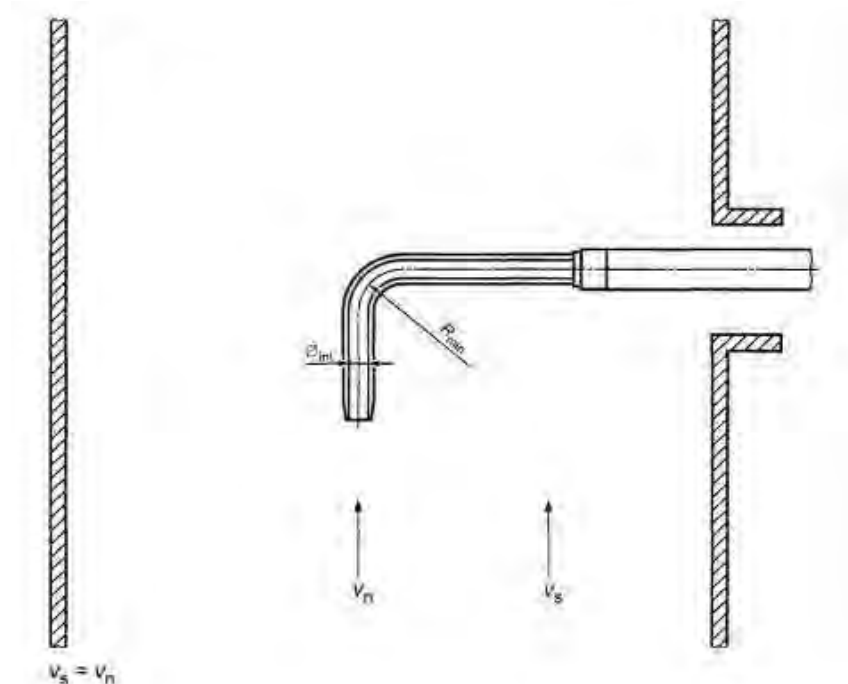


Рисунок 1 - ИзокINETИЧЕСКИЙ отбор проб

V_s - скорость газа в газоходе; V_n - скорость газа в насадке зонда (пробоотборной трубке);

R_{min} - минимальный радиус колена насадки; \varnothing_{int} - внутренний диаметр насадки зонда.

1.6 плоскость отбора проб (sampling plane): Плоскость в месте отбора проб, перпендикулярная к оси газохода (см. рисунок 2).

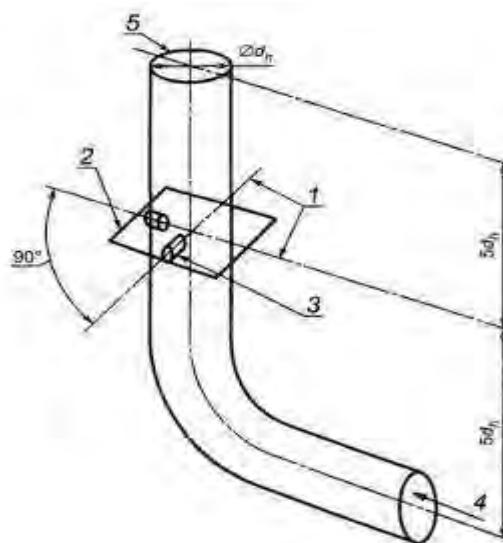


Рисунок 2 - Пример определения плоскости отбора проб для круглого газохода

1 - линии отбора проб; 2 - плоскость отбора проб; 3 - штуцер; 4 - поток; 5 - верхняя часть газохода

- 1.7 **линия отбора проб** (sampling line): Линия в плоскости отбора проб, вдоль которой размещены точки отбора проб, ограниченная внутренней стенкой газохода (см. рисунок 2).
- 1.8 **точка отбора проб** (sampling point): Определенное место на линии отбора проб, в котором отбирается проба.
- 1.9 **штуцер** (welded socket): Отверстие в трубе в конце линии отбора, место куда помещается пробоотборный зонд.
- 1.10 **труба; газоход** (stack): закрытая конструкция через которую проходят газы.
- 1.11 **газ** (gas) - смесь газовых компонентов, которые могут нести взвешенные частицы в газовом потоке.
- 1.12 **динамическое давление** (dynamic pressure): разница давлений по потоку и против потока газа внутри газохода .
- 1.13 **статическое давление** (static pressure): разница давлений внутри газохода по потоку и в окружающем воздухе на одинаковой высоте.
- 1.14 **полное давление потока** (full pressure): разница давлений внутри газохода против потока и в окружающем воздухе на одинаковой высоте (сумма динамического давления и статического давления).
- 1.15 **совокупный отбор пробы** (comprehensive sampling): получение единичной пробы (пыли/загрязняющего вещества), путем отбора пробы в течение одинакового времени в каждой точке отбора по очереди.
- 1.16 **дифференциальный отбор пробы** (differential sampling): сбор пробы (пыли/загрязняющего вещества) и смена фильтров производится в каждой пробоотборной точке отдельно.
- 1.17 **представительная проба** (representative sample): проба газа, которая имеет те же значения концентрации взвешенных, которая превалирует в плоскости отбора пробы.
- 1.18 **реальные условия** (real conditions): температура и давление в точках отбора проб.
- 1.19 **нормальные условия** (normal conditions): Постоянные значения давления и температуры газа и условия, к которым должны приводиться расчетные объемы.
- Примечание - Нормальные условия (н.у.)**- давление 101,325 кПа (округлено до 101,3 кПа); температура 273,15 К (0° С) (округленная до 273 К); сухой пылегазовый поток.
- 1.20 **нулевая проба** (overall blank): Контрольная проба, отобранная в том же месте и тем же способом, что и обычные пробы в сериях, за исключением того, что во время отбора контрольной пробы не поступает реальный пылегазовый поток.

Примечание - Полученное для нулевой пробы изменение массы фильтра дает оценку неопределенности. Значение массы, приписанное нулевой пробе, разделенное на средний объем пробы для серии измерений, позволяет оценить предел обнаружения (в мг/м³) всего процесса измерения, проведенного оператором. Нулевая проба включает возможно осевшую на фильтре и всех частях выше по потоку пыль.

1.21 **серия измерений** (measurement series): Последовательные измерения, проводимые в одной и той же плоскости отбора проб и при одних и тех же условиях контролируемого процесса.

Описание переменных и единиц измерения

Символ	Описание переменной	Единицы
a	Эффективная площадь насадки	мм ²
C	Концентрация взвешенных (загрязняющих) веществ	г/м ³
δ	Толщина стенки кончика носика	мм
d	Диаметр трубы в плоскости пробоотбора	м
d_{N1}	Внутренний диаметр насадки	мм
d_{N2}	Внешний диаметр насадки	мм
f_N	Концентрация водяных паров	кг/м ³ сух. газа
i	Индивидуальная точка на пробоотборной линии	-
K	Калибровочный коэффициент газонапорной трубки	-
l	Характеристическая длина	м
A	Длина большей стороны пробоотборной плоскости	м
B	Длина меньшей стороны пробоотборной плоскости	м
m	Масса взвешенных на фильтре	г
M_j	Молярная масса j-го вещества	г/моль
M	Выброс взвешенных	г/с
n_d	Количество точек пробоотбора на диаметре отбора	-
P_{полн}	Полное давление потока	Па
P_{стат}	Статическое давление	Па
P_{дин}	Эффективное (динамическое) давление	Па
ρ	Плотность газа	кг/м ³
t	Общее время отбора пробы	мин
Δt	Время отбора на каждую точку	мин
T	Температура	°C
v	Скорость газа	м/с
V	Объем газа	м ³
V_m	Молярный объем газа при н.у. (22,4 л/моль)	л/моль
W	Объёмный расход потока газа в газоходе (трубе)	м ³ /с
x_i	Расстояние от стены до индивидуальной точки отбора по диаметру	м

2. Как определить выброс загрязняющих веществ

Выброс M (г/с) загрязняющих веществ в атмосферу (ЗВ) от источников выбросов промышленных предприятий является основной характеристикой негативного воздействия этих источников (дымовых труб, дефлекторов, и т.д.) на атмосферный воздух и окружающую среду. Выбросы ЗВ от источников подлежат обязательному нормированию и контролю.

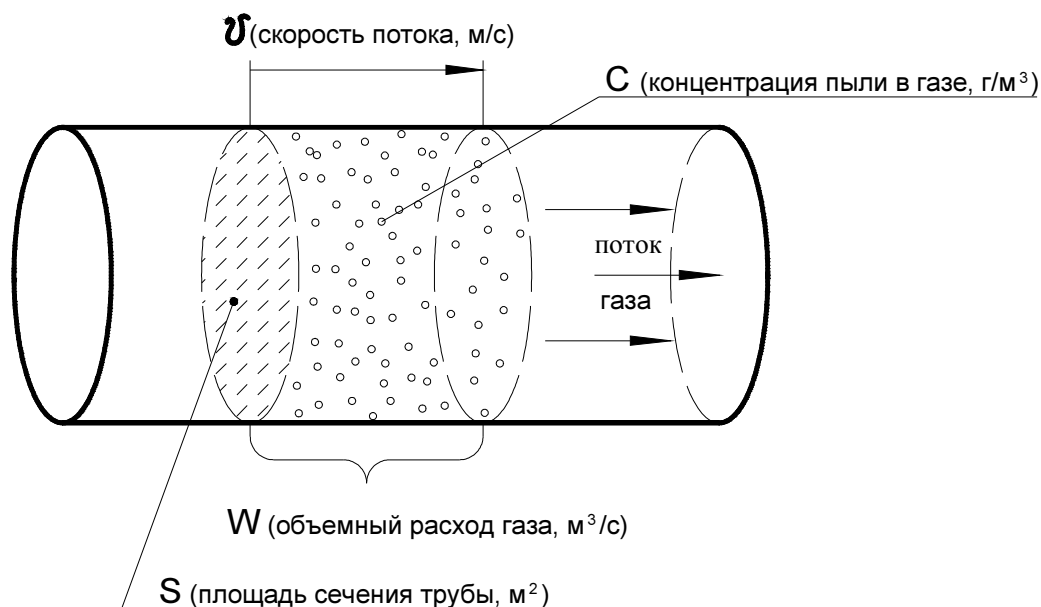


Рисунок 1. Схема газопылевого потока в газоходе

Для определения выбросов ЗВ используют формулу: произведение объемного расхода газового потока в трубе (газоходе) на концентрацию загрязняющего вещества в трубе (газоходе).

$$M(\text{г/с}) = W(\text{м}^3/\text{с}) \times C(\text{г/м}^3) \quad (1)$$

Объемный расход газового потока в трубе находят по формуле: произведение площади сечения трубы на усредненную скорость газового потока в трубе.

$$W(\text{м}^3/\text{с}) = S(\text{м}^2) \times V(\text{м/с}) \quad (2)$$

Таким образом, для определения выброса $M(\text{г/с})$ загрязняющего вещества (например пыли), необходимо инструментально измерить:

1. Площадь сечения газохода
2. Скорость газового потока в газоходе
3. Концентрацию загрязняющего вещества (пыли) в газоходе.

кроме того необходимо измерить:

4. Температуру газового потока
5. Давление внутри газохода.
6. Компонентный состав газа и содержание влаги

Измерение выброса пыли (взвешенных веществ) от источника является одной из трудоемких работ и занимает как правило от 2 до 6 часов. Кроме непосредственных

измерений на газоходе и отбора проб пыли, потребуется провести подготовку фильтров в лаборатории до и после отбора проб пыли. Измерение скорости газового потока, объемного расхода и отбор пыли на фильтры потребуют многих вычислений и постоянного наблюдения за правильностью отбора проб и параметрами газового потока за время измерений (изменение скорости, температуры, влажности газового потока). Для ускорения трудоемких вычислений при измерении выбросов рекомендуется использовать программу Excel (можно аналог), или использовать программируемый калькулятор.

Если требуется определить эффективность пыле-газоулавливающей установки (ПГУ), потребуется определить выброс пыли до и после ПГУ, причем отбор проб пыли на фильтры необходимо проводить 2-мя группами одновременно.

Измерительное оборудование для определения выброса ЗВ условно можно разделить на 4 типа:

1. Оборудование для измерения скорости газового потока.
2. Оборудование для отбора проб ЗВ (пыль, углеводороды, металлы, и др.).
3. Газоанализаторы для прямого определения концентрации ЗВ в газо-воздушной смеси.
4. Лабораторное оборудование для обработки и анализа ЗВ в отобранных пробах.

Скорость газового потока определяется при температуре и давлении внутри газохода, и используя формулу (2) вычисляем объемный расход газового потока при той же температуре и давлении.

Концентрации ЗВ, после отбора проб и количественного анализа, пересчитываются на температуру 0°C (реже на 20°C) и давление 101,3 кПа (760 мм рт.ст).

Для правильного вычисления выброса $M(\text{г/с})$ необходимо объемный расход газа $W(\text{м}^3/\text{с})$, и концентрацию ЗВ в газоходе $C(\text{г/м}^3)$ привести (пересчитать) к одним условиям (одинаковая температура, одинаковое давление).

Пример:

Объемный расход в газоходе $W(\text{м}^3/\text{с}) = 4,0 \text{ м}^3/\text{с}$ при 250°C ;

Газоанализатор измерил концентрацию $\text{SO}_2 = 0,200 \text{ г/м}^3$ при 20°C ;

Давление одинаковое - 101,3 кПа.



Как вычислить выброс SO_2 ?

Для правильного вычисления выброса $M(\text{г/с})$ необходимо объемный расход газа и концентрацию пересчитать на одинаковые условия по формуле Менделеева-Клапейрона:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

*где P_i – давление (кПа), V_i – объем (м^3) (или объемный расход ($\text{м}^3/\text{с}$)),
 T_i – температура ($^\circ\text{K}$) [$^\circ\text{K} = ^\circ\text{C} + 273^\circ$];*

1 вариант - Приведем объемный расход газа к температуре 20°C :

$$\frac{101,3 \text{ кПа} \times 4,0 \text{ м}^3/\text{с}}{(250^\circ\text{C} + 273^\circ)} = \frac{101,3 \text{ кПа} \times X \text{ м}^3/\text{с}}{(20^\circ\text{C} + 273^\circ)}$$

X (при 20°C) = $2,24 \text{ м}^3/\text{с}$; Объемный расход $W(\text{м}^3/\text{с}) = 2,24 \text{ м}^3/\text{с}$ при 20°C

Выброс $\text{SO}_2 = 2,24 \text{ м}^3/\text{с} \times 0,200 \text{ г/м}^3 = \underline{0,448 \text{ г/с}}$

2 вариант - Приведем концентрацию SO_2 к температуре 250°C :

Поскольку концентрация – обратно пропорциональна объему (т.е. чем больше объем на массу вещества - тем меньше концентрация), формула Менделеева-Клапейрона

преобразуется:
$$\frac{P_1}{C_1 \cdot T_1} = \frac{P_2}{C_2 \cdot T_2}$$

$$\frac{101,3 \text{ кПа}}{C \text{ г/м}^3 \times (250^\circ\text{C} + 273^\circ)} = \frac{101,3 \text{ кПа}}{0,20 \text{ г/м}^3 \times (20^\circ\text{C} + 273^\circ)}.$$

Концентрация SO_2 при 250°C : $C \text{ г/м}^3 \text{ (при } 250^\circ\text{C)} = 0,112 \text{ г/м}^3$;

Выброс $SO_2 = 4,0 \text{ м}^3/\text{с} * 0,112 \text{ г/м}^3 = \underline{0,448 \text{ г/с}}$



Как видно из примера, правильный ответ дают оба варианта вычисления, т.к. концентрация и объемный расход были приведены к одним условиям. В соответствии с нормативными документами, объемный расход газового потока $W(\text{м}^3/\text{с})$ и концентрации загрязняющих веществ $C(\text{г/м}^3)$ должны быть приведены (пересчитаны) к нормальным условиям (0°C , и $101,325 \text{ кПа}$) сухой газовой смеси (0% влажности).

Последовательность измерений для определения выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) от источника выброса в атмосферу:

1. Подготовка оборудования для измерений (взвешивание фильтров, проверка и/или калибровка газоанализаторов, проверка аспираторов, газовых счетчиков, термометров, манометров; подготовка осушителей (силикагель, каплеуловитель), газонапорных трубок, пробоотборных зондов, барботёров с поглотительными растворами).
2. Проверка штуцеров на газоходах и наличие электричества на месте отбора (при отсутствии или неправильном размещении штуцеров – проинформировать руководство предприятия (гл. инженера) как необходимо оборудовать газоход для отбора проб [штуцера, подвод электричества, обогреваемая площадка для отбора]).
3. Измерение параметров газохода (диаметр, ширина, глубина) для определения площади сечения газохода в месте измерения.
4. Определение усредненной скорости потока и объёмного расхода в газоходе (измерение дифференциального давления газового потока по сечению газохода для определения скорости в точках по сечению газохода; измерение температуры, атмосферного давления на площадке отбора, статического давления в газоходе, состава газа (O_2 , CO_2 , содержание влаги)).
5. Измерение загрязняющих веществ с помощью газоанализаторов (при необходимости: размещение газоанализаторов в чистой комнате, проверка или калибровка газоанализаторов по ПГС (поверочные газовые смеси), размещение линии отбора от газохода к газоанализаторам). Подключение запоминающего устройства для периодической записи концентраций ЗВ в память устройства.
6. Отбор проб пыли (взвешенных веществ) на фильтры в точках по сечению газохода, расчет скорости отбора проб через аспиратором для соблюдения изокINETического отбора. Измерение температуры и скорости потока в газоходе между отборами проб пыли (для контроля объёмного расхода в газоходе и соблюдения изокINETического отбора).
7. Отбор проб загрязняющих веществ в барботеры, сорбционные патроны и т.п. (с соблюдением изокINETического отбора при необходимости).
8. Обработка результатов измерений, пробоподготовка отобранных проб, проведение в лаборатории количественных анализов ЗВ в отобранных пробах (высушивание и взвешивание фильтров, количественный анализ металлов, углеводородов, и др.). Расчет концентраций ЗВ в газоходе.
9. Расчет выбросов загрязняющих веществ от источника. Расчет погрешности измерений.

3. Место отбора проб в газоходе

3.1. Измерительное сечение, выбор места отбора проб

Правильно оборудованные места отбора проб это не только комфорт и безопасность специалистов лаборатории при проведении измерений промышленных выбросов, это прежде всего получение представительных результатов.

Место для отбора проб и проведения измерений параметров потока выбросов выбирают с таким расчетом, чтобы эти измерения обеспечивали получение достоверных результатов.

Измерительное сечение следует выбирать на прямом участке газохода на достаточном расстоянии от мест, где изменяется направление потока газа (колена, отводы и т.д.) или площадь поперечного сечения газохода (задвижки, дросселирующие устройства и т.д.). Предпочтительнее производить измерения в вертикальных участках газохода, в которых крупные фракции пыли не оседают на стенках газохода под действием силы тяжести.

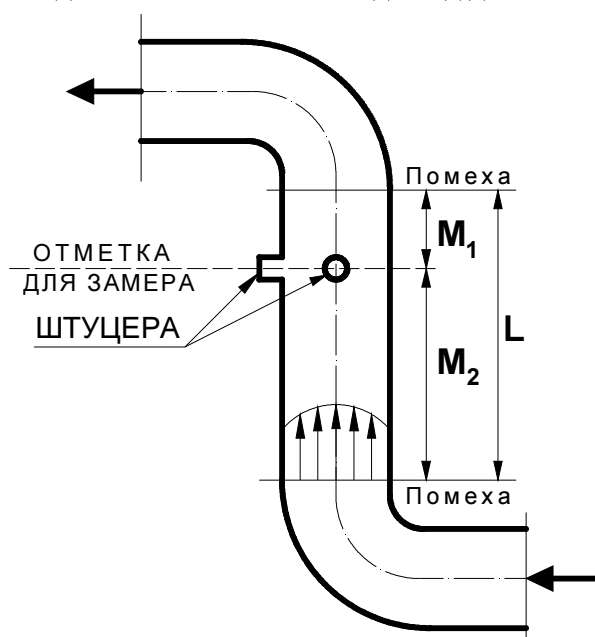


Рисунок 2. Выбор места отбора на газоходе.

Чтобы обеспечить постоянную скорость потока в плоскости отбора, эта часть прямой трубы должна быть, по крайней мере, семь диаметров длиной. По длине прямой части трубы расположите плоскость отбора на расстоянии пяти диаметров от входного отверстия. Если плоскость отбора нужно расположить в трубе, выбрасывающей в воздух, расстояние до верхушки трубы должно быть также 5 диаметров (таким образом получаем, что длина прямой трубы должна быть десять диаметров). Выберите место, где, как может ожидать, распределение взвешенных частиц в трубе будет одинаковым. Если отбор пробы в горизонтальной трубе неизбежен, существуют практические преимущества в расположении точек отбора пробы на вершине трубы, и нужно принять во внимание любые осадки на дне трубы.

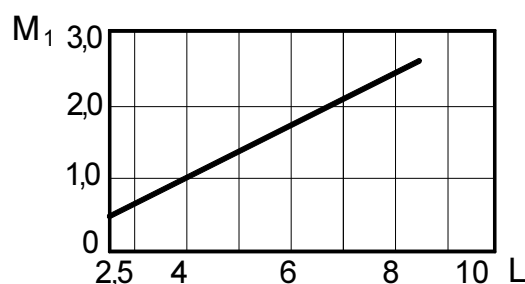


Рисунок 3. Соотношение прямого участка газохода до и после метки для замеров (в диаметрах газохода).

Отрезок прямого участка газохода до измерительного сечения должен быть длиннее отрезка за измерительным сечением (см. рисунок 2). Отношение длин отрезков газохода до измерительного сечения и за ним устанавливается согласно рисунку 3.



Минимальная длина прямого участка газохода (L) должна составлять не менее 4-5 эквивалентных диаметров (De) газохода; если условие минимальной длины не может быть обеспечено, то следует увеличить количество точек измерений в два раза.

Если нельзя выбрать мерное сечение, отвечающее этим требованиям, то можно проводить измерения на прямолинейном участке газохода, разбив его в соотношении приблизительно 3:1 в направлении движения газового потока.

3.2. Штуцера для отбора проб

К стенке газохода в измерительном сечении привариваются патрубки (штуцера) длиной 20-100 мм, и внутренним диаметром 60 - 100 мм для ввода напорных и пылезаборных трубок. Патрубки закрывают завинчивающимися крышками. Однако, крышки штуцеров на резьбе при воздействии больших температур и агрессивных сред часто «прикипают», что заставляет применять крышки в других исполнениях. Например, при отсутствии избыточного давления в трубе, крышки штуцеров можно исполнить в виде газоплотных «стаканов» без резьбы или в виде фланцев на болтах (или шпильках).

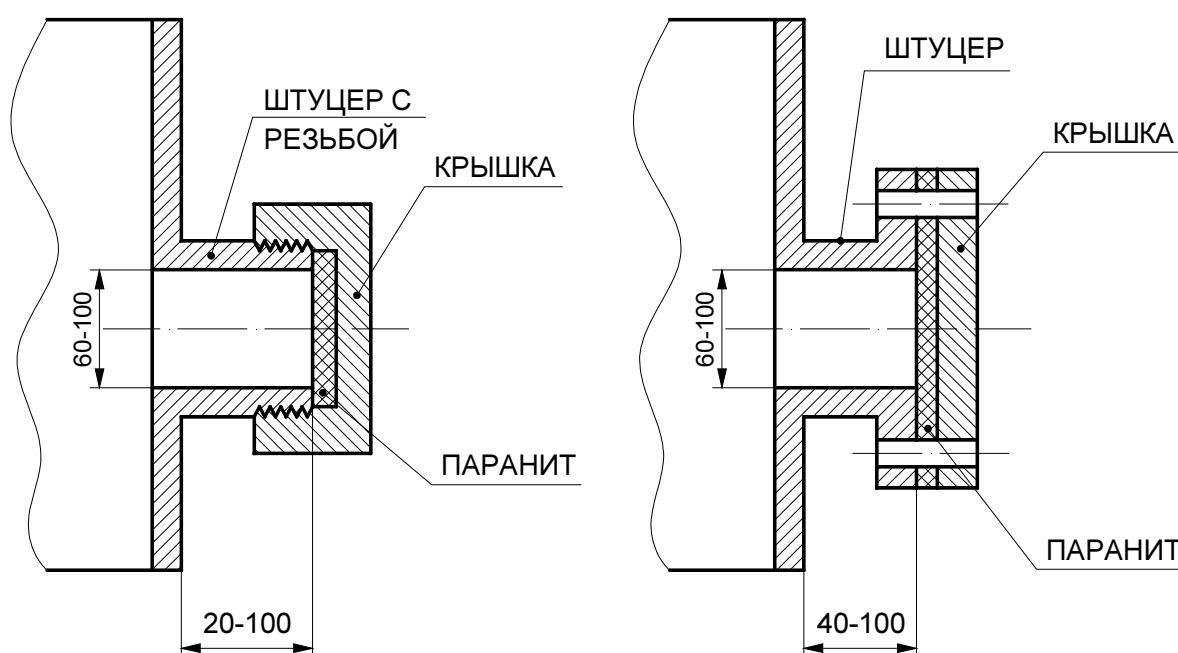


Рисунок 4. Штуцера для измерения скорости и запыленности газа.

Размеры штуцера зависят от размеров пробоотборной трубки т.е. должно быть достаточно места для внесения и удаления газонапорных трубок и пробоотборных зондов.

Входные отверстия для измерений внутри газохода (фланцы, штуцера и т.д.) в месте измерений должны быть выполнены таким образом, чтобы как можно меньше были нарушены поверхностные слои газохода (теплоизоляция, антикоррозионное покрытие и т.д.) и не было утечки газа или подсоса воздуха.

3.3 Площадка для отбора проб

На площадке необходимо предусмотреть место для хранения и размещения измерительной аппаратуры; размер площадки должен обеспечивать возможность удобной и безопасной работы обслуживающего персонала численностью не менее двух человек. На площадке должно быть оборудовано место для размещения оборудования, а также достаточно места для перемещения длинных газонапорных трубок и зондов при отборе проб внутри газохода.

На рабочей площадке должны быть смонтированы розетки (220 В) для подключения электроасpirатора и др. приборов. При использовании эжектора должна быть подведена линия сжатого воздуха с давлением 0,6 МПа.

Ответственность за правильную организацию мест отбора проб для экоаналитического контроля промышленных выбросов в атмосферу возлагается на руководителя предприятия.

Руководство предприятия несет ответственность за соблюдение необходимых мер по технике безопасности при проведении измерений.

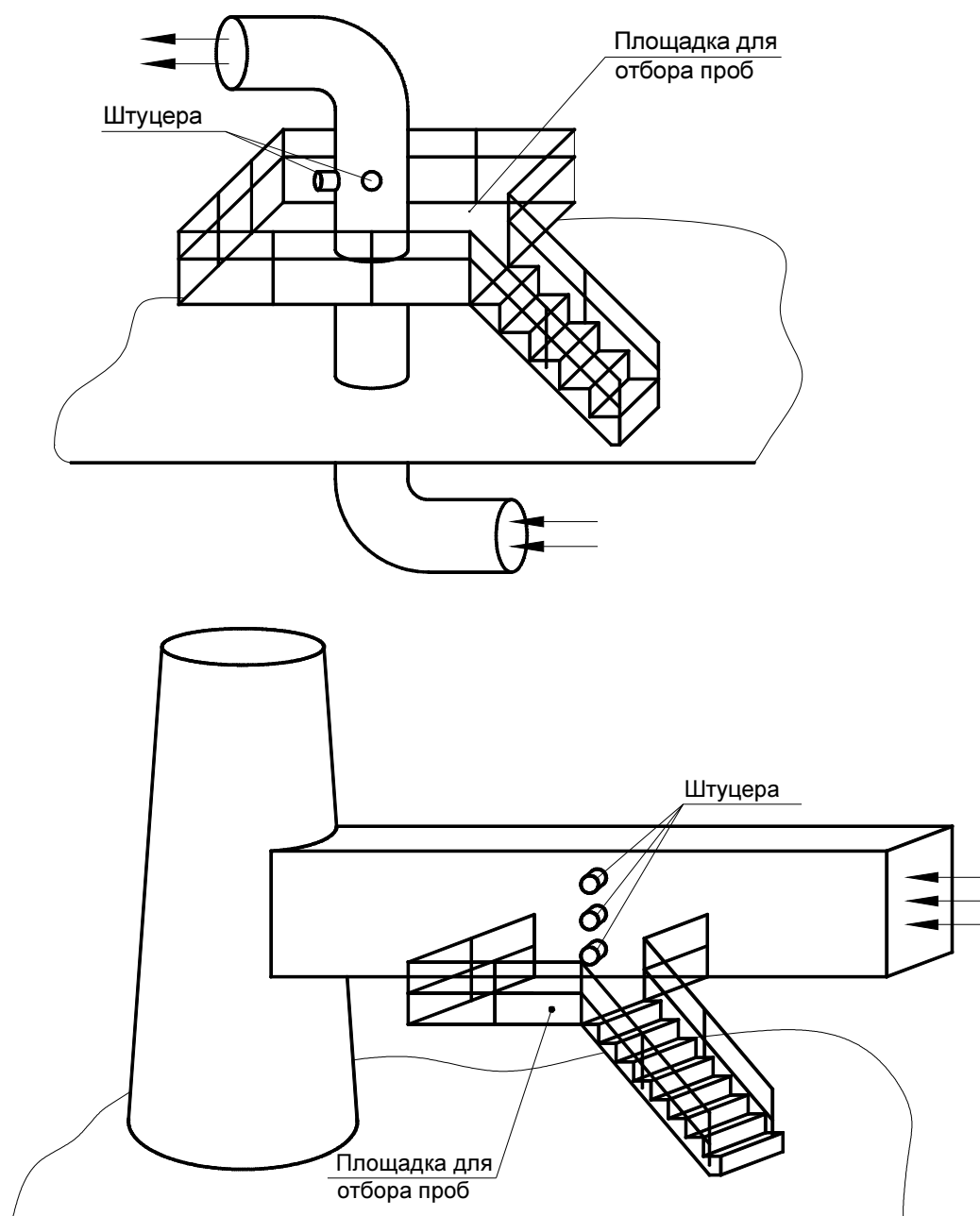


Рисунок 5. Примеры размещения площадок для отбора проб.

Для измерений в газоходах большого диаметра (> 3 м), которые находятся в не здании цехов, рекомендуется оборудовать место пробоотбора обогреваемым боксом, в котором проведено электричество, сделано освещение и оборудовано место для размещения пробоотборного оборудования. Наличие длинных газонапорных трубок для измерений скорости на таких газоходах должно обеспечить руководство предприятия (газонапорные трубки должны быть поверены и иметь сертификат испытаний, в котором определён коэффициент трубки для расчета скорости потока). Кроме того, высота бокса должна быть достаточной для выполнения измерений скорости газового потока по всей высоте газохода.

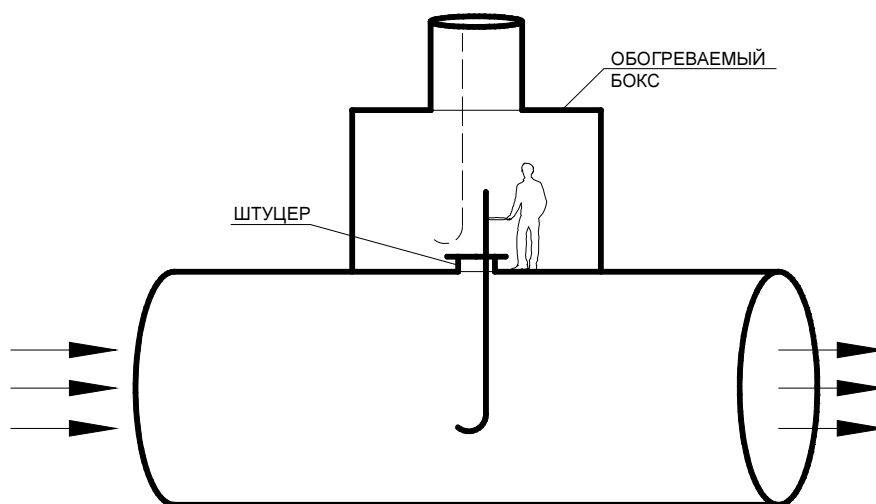


Рисунок 6. Пример размещения площадки отбора проб на трубах большого диаметра (> 3 м).

4. Определение скорости и объёмного расхода газового потока

4.1. Размещение точек измерения по сечению газохода

Представительные измерения возможны, если доступно подходящее место, в котором скорость потока в плоскости отбора проб достаточно однородна.

Измерение скорости потока следует проводить при достаточном числе точек, обычно расположенных на нескольких линиях измерений.

Для круглых газоходов существует 2 способа размещения точек в плоскости газохода: с четным количеством точек и с нечетным количеством точек (с точкой в центре газохода).

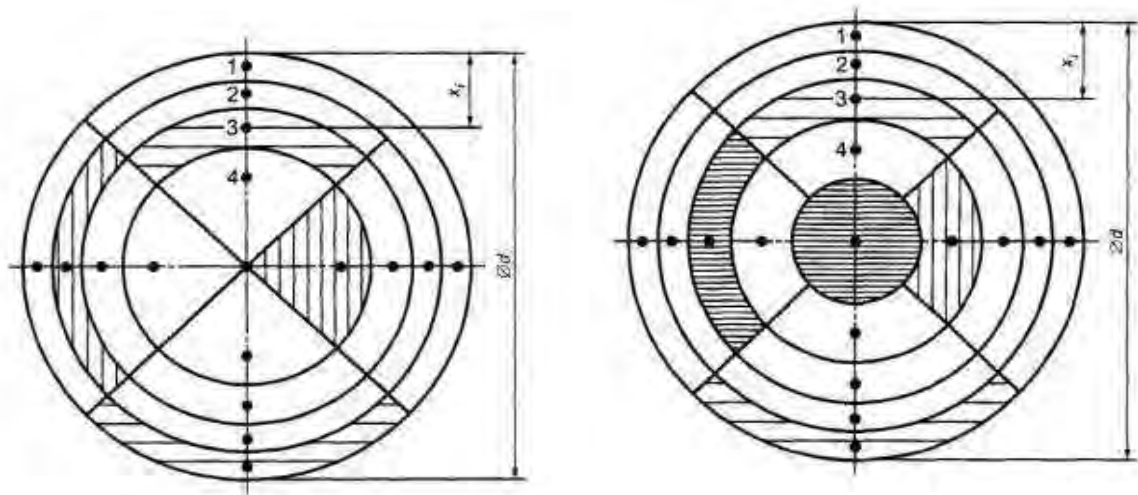


Рисунок 7. Расположение точек в цилиндрических трубах для измерения скорости и отбора проб пыли. (Закрашенные участки имеют одинаковую площадь)

Для круглых газоходов с четным количеством точек общая формула для расчета расстояния от стенки газохода до i -й точки вдоль диаметра имеет вид:

$$x_i = \frac{D}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{(N - 2i + 1)}{N}} \right] \quad \text{для } i < N/2 ; \quad N - \text{число точек по линии диаметра газохода.}$$

$$x_i = \frac{D}{2} \left[1 + \sqrt{\frac{(2i - N - 1)}{N}} \right] \quad \text{для } i > N/2 ; \quad D - \text{диаметра газохода.}$$

Таблица 1. Размещение точек по линии диаметра круглого сечения (четное число точек).

Номер точки по линии диаметра (i)	Расстояние от стенки газохода в % от D газохода			
	$N = 2$	$N = 4$	$N = 6$	$N = 8$
1	14,6	6,7	4,4	3,3
2	85,4	25	14,6	10,5
3		75	29,6	19,4
4		93,3	70,4	32,3
5			85,4	67,7
6			95,6	80,6
7				89,5
8				96,7

Для круглых газоходов с нечетным количеством точек (с точкой в центре) общая формула для расчета расстояния от стенки газохода до i -й точки вдоль диаметра имеет вид:

$$x_i = \frac{D}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{(2N - 4i + 1)}{2N - 1}} \right] \quad \text{для } i < \frac{N + 1}{2} ;$$

$$x_i = \frac{D}{2} \quad \text{для } i = \frac{N + 1}{2} ;$$

$$x_i = \frac{D}{2} \left[1 + \sqrt{\frac{(4i - 2N - 3)}{2N - 1}} \right] \quad \text{для } i > \frac{N + 1}{2} ;$$

Таблица 2. Размещение точек по линии диаметра круглого сечения (нечетное число точек).

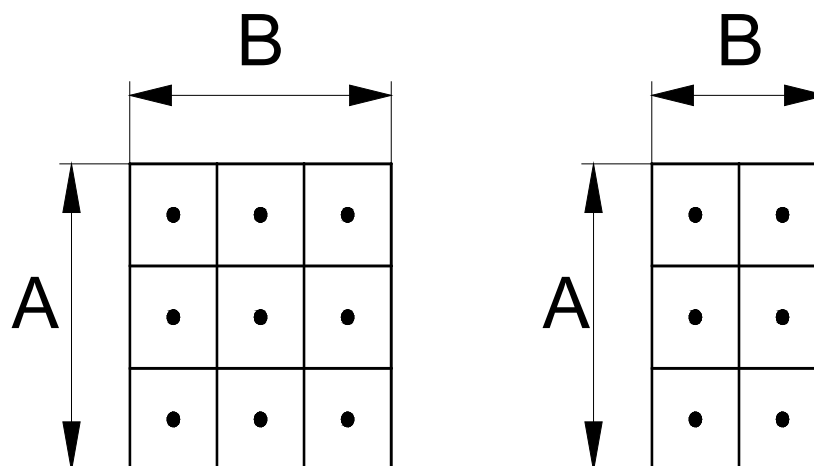
Номер точки по линии диаметра (<i>i</i>)	Расстояние от стенки газохода в % от <i>D</i> газохода			
	N = 3	N = 5	N = 7	N = 9
1	11,3	5,9	4,0	3,0
2	50,0	21,1	13,3	9,8
3	88,7	50,0	26,0	17,8
4		78,9	50,0	29,0
5		94,1	74,0	50,0
6			86,7	71,0
7			96,0	82,2
8				90,2
9				97,0

Таблица 3. Минимальное число точек отбора проб для круглых газоходов

Диаметр газохода, м	Минимальное число точек отбора проб на линии		Минимальное число точек отбора проб на сечении газохода	
	с центральной точкой	четное число точек	с центральной точкой	четное число точек
< 0,20	1	2	1	4
0,20 - 0,50	3	2	5	4
0,50 - 1,00	5	4	9	8
1,00 - 1,40	7	6	13	12
1,40 - 2,00	9	8	17	16
2,00 - 3,00	11	10	21	20
> 3,00	13	12	24	25

По правилу, применяемому для прямоугольных и квадратных газоходов, плоскость отбора проб должна быть разделена на равные области линиями, параллельными сторонам газохода, а точки отбора проб должны быть расположены в центре каждой области (см. рисунок 7).

Обычно две перпендикулярные стороны прямоугольного газохода делят на равное число частей, придавая областям ту же форму, что и форма газохода. Число областей в этом случае получают в зависимости от числа делений на стороне 1, 2, 3 и т. д., возводя его в квадрат (см. рисунок 8).

**Рисунок 8.** Расположение точек в прямоугольном и квадратном газоходах для измерения скорости и отбора проб пыли

Если длины сторон плоскости сечения газохода - A , и B (где A , больше, чем B), имеют отношение $A/B > 2$, сторона A должна быть разделена на большее число частей по сравнению с B таким образом, чтобы каждая из меньших областей удовлетворяла тому, что более длинная ее сторона не более чем вдвое была длиннее ее короткой стороны (см. рисунок 8).

Если длины сторон плоскости A , и B разделены на N_A и N_B частей соответственно, число точек отбора проб будет $(N_A \times N_B)$, а наименьшее расстояние от стенки газохода будет $A/(2 \times N_A)$ и $B/(2 \times N_B)$.

Таблица 4. Число точек отбора проб для прямоугольных газоходов

Эквивалентный диаметр прямоугольного сечения D_e , м	$\frac{L}{D_e}$	Количество точек измерения N в сечении		
		прямоугольном сечении при соотношения сторон $B \times A$		
		от 1×1 до 1×1,6	от 1×1,6 до 1×2,5	> 1×2,5
		$N_B \times N_A = N$		
< 0,20	> 5,5	1×1 = 1	1×2 = 2	1×3 = 3
	4 - 5,5	2×2 = 4	2×2 = 4	2×3 = 6
0,20 – 0,90	> 4	2×2 = 4	2×2 = 4	2×3 = 6
	2,5 - 4	2×4 = 8	2×4 = 8	2×5 = 10
0,50 – 0,90	> 5,5	2×2 = 4	2×2 = 4	2×3 = 6
	4 - 5,5	2×4 = 8	2×4 = 8	2×5 = 10
	2,5 - 4	3×4 = 12	3×5 = 15	3×5 = 15
0,90 – 1,40	> 5,5	2×4 = 8	2×4 = 8	2×5 = 10
	4 - 5,5	3×4 = 12	3×5 = 15	3×5 = 15
	2,5 - 4	4×4 = 16	3×6 = 18	3×6 = 18
	< 2,5	4×6 = 24	3×8 = 24	3×8 = 24
1,40 - 2,00	> 5,5	3×4 = 12	3×5 = 15	3×5 = 15
	4 - 5,5	4×4 = 16	3×6 = 18	3×6 = 18
	2,5 - 4	4×5 = 20	4×5 = 20	3×7 = 21
	< 2,5	4×7 = 28	4×7 = 28	3×10 = 30
. 2,00 - 2,70	> 5,5	4×4 = 16	3×6 = 18	3×6 = 18
	4 - 5,5	4×5 = 20	4×5 = 20	3×7 = 21
	2,5 - 4	4×6 = 24	4×6 = 24	3×8 = 24
	< 2,5	4×8 = 32	4×8 = 32	4×11 = 44
. 2,70 - 3,50	> 5,5	4×5 = 20	4×5 = 20	3×7 = 21
	4 - 5,5	4×6 = 24	4×6 = 24	3×8 = 24
	2,5 - 4	4×7 = 28	4×7 = 28	4×7 = 28
	< 2,5	4×10 = 40	4×10 = 40	4×10 = 40
> 3,50	> 5,5	4×6 = 24	4×6 = 24	3×8 = 24
	4 - 5,5	4×7 = 28	4×7 = 28	4×7 = 28
	2,5 - 4	4×8 = 32	4×8 = 32	4×8 = 32
	< 2,5	4×11 = 44	4×11 = 44	4×11 = 44

Эквивалентный диаметр рассчитывается по формуле:
$$De = \frac{2 \times A \times B}{A + B}$$

Для квадратного газохода $De = A = B$.

4.2. Газонапорные трубки

Измерения скорости проводят с использованием стандартных трубок Пито (L-типа) (Рисунок 9) или других газонапорных трубок (Рисунок 10) (например трубок Пито s-типа, трубок НИИОГАЗа), которые откалиброваны по стандартизованным трубкам Пито (L-типа) в соответствии с ИСО 10780.

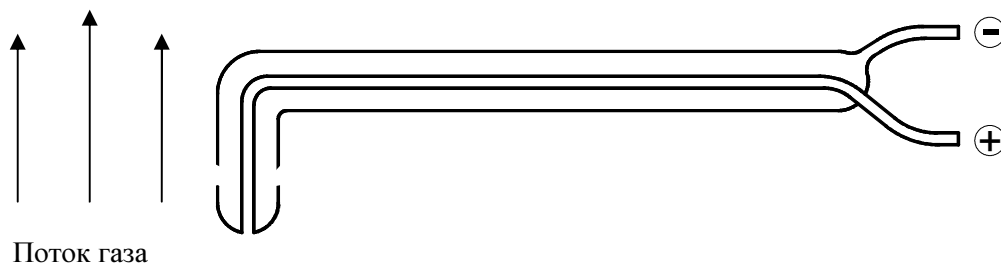
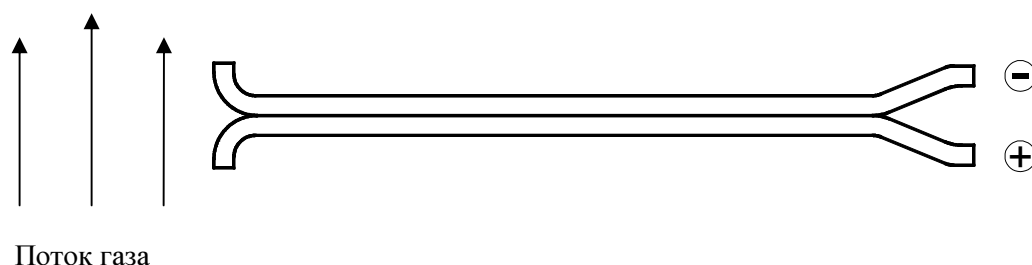
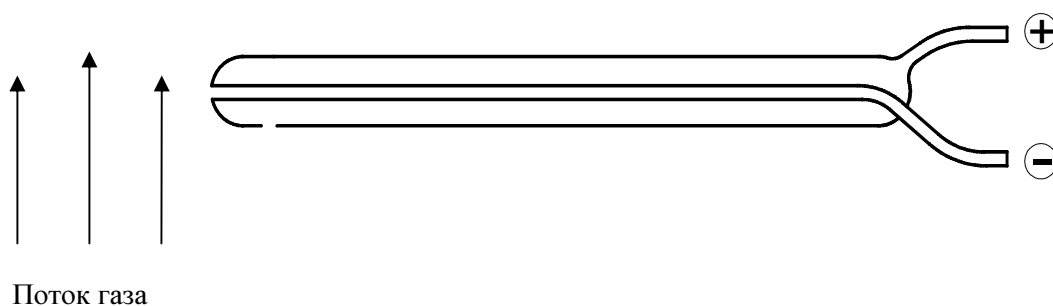


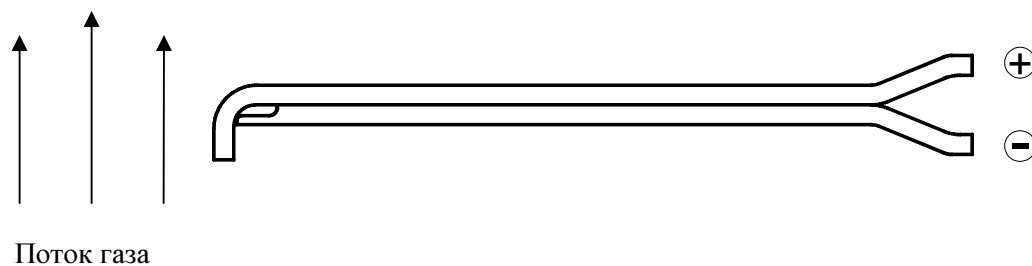
Рисунок 9. Стандартная трубка Пито (L-типа).



трубка Пито (S-типа)



трубка Пито (прямая)



трубка НИИОГАЗ

Рисунок 10. Газонапорные трубки

Газонапорную трубку подключают к манометрам для измерения динамического давления газового потока (для определения скорости потока) и статического давления в трубе (используется в расчетах для определения плотности газа). Конец газонапорной трубки, предназначенной для замера полного напора газа, должен быть направлен навстречу газовому потоку в соответствии с рисунком 11. Соединяют пневмометрическую трубку с манометром (дифференциальным манометром) резиновыми или ПВХ шлангами. Порядок подключения манометра (диф. манометра) к газонапорной трубке для определения полного, динамического и статического давлений представлен на рисунке 12 (при избыточном давлении в газоходе – статическое давление положительное) и на рисунке 13 (при разрежении в газоходe – статическое давление отрицательное).

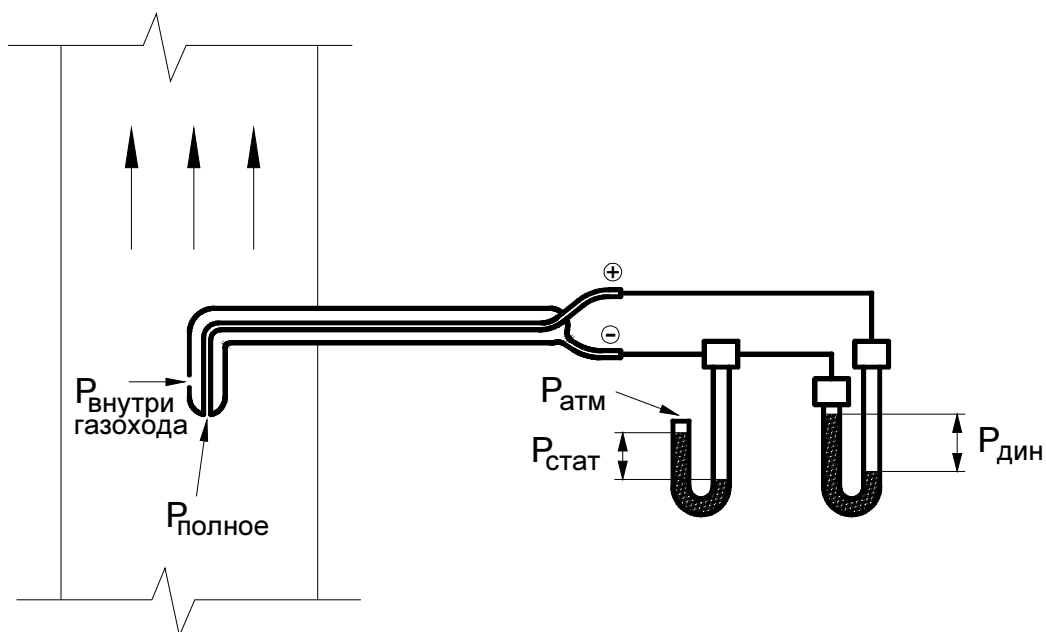


Рисунок 11. Размещение газонапорной трубки в газоходe

- $P_{атм}$ – атмосферное давление
 $P_{дин}$ – динамическое давление создаваемое потоком газа (для определения скорости потока)
 $P_{полн}$ – полное давление потока газа = $P_{внутри} + P_{дин}$
 $P_{внутри}$ – давление газа внутри газохода (без давления скоростного потока)
 $P_{стат}$ – статическое давление (разница между атмосферным давлением и давлением внутри газохода) $P_{стат} = P_{внутри} - P_{атм}$

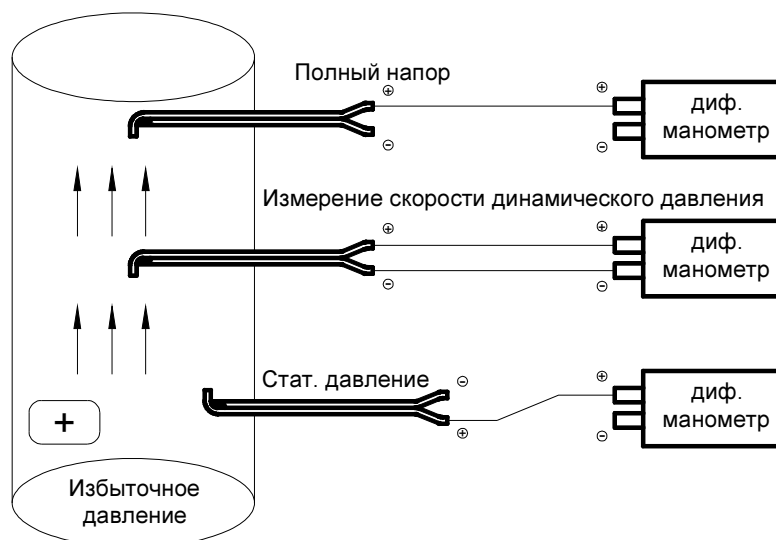


Рисунок 12. Подключение трубки НИИОГаз к манометру для определения полного, динамического и статического давления при избыточном давлении в газоходe

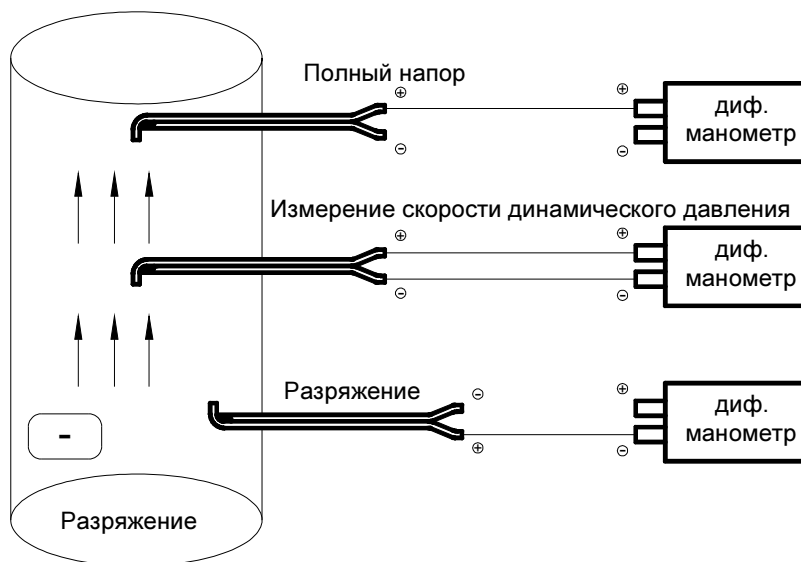


Рисунок 13. Подключение трубки НИИОГаз к манометру для определения полного, динамического и статического давления при разряжении в газоходе

4.3. Разметка напорной трубки для измерения скорости газового потока

Перед разметкой напорной трубки, необходимо измерить сечение газохода. Для круглых газоходов: измерить расстояние от конца штуцера до ближней внутренней стенки газохода (Q), от конца штуцера до дальней внутренней стенки газохода (F), и рассчитать внутренний диаметр газохода ($D = F - Q$) (см. рисунок 14).

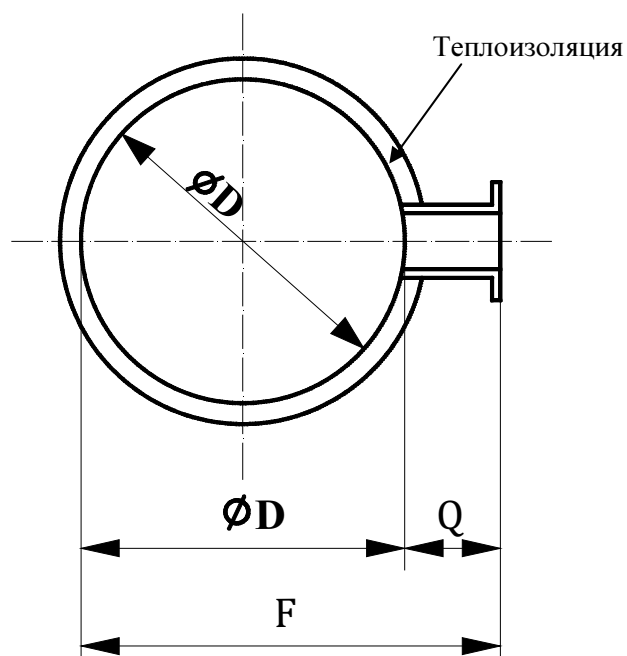


Рисунок 14. Нахождение размера диаметра газохода: $D = F - Q$

Рассчитав диаметр газохода, по Таблице 3 находим количество точек отбора по линии (оператор решает сам как будет разбит газоход: с четным числом точек или с нечетным (с точкой в центре газохода)). По таблицам 1 и 2 (или по формулам на стр.15) рассчитываем расстояние от внутренней стенки газохода до точек измерения (см. Рисунок 15).

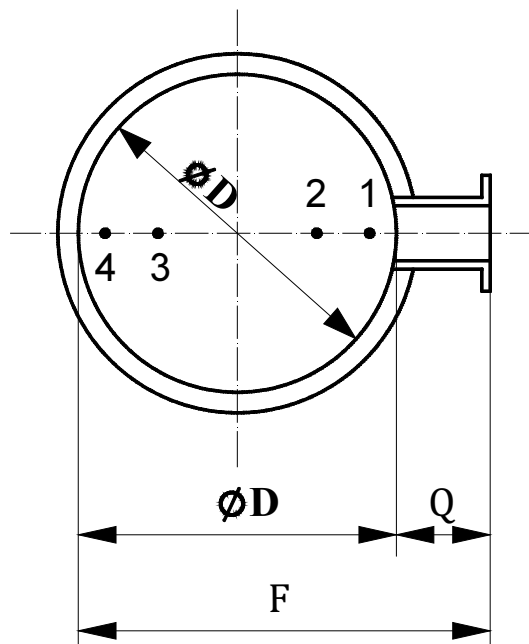


Рисунок 15. Разметка газохода вдоль линии отбора.

Рассчитав расстояния до точек отбора, размечаем газонапорную трубку, учитывая размеры штуцера (Q) (см. Рисунок 16). На трубку наносят метки (например термостойким скотчем). При измерении скорости в точках отбора - метки на трубке совмещают с концом штуцера. Аналогично проводим разметку по второму штуцеру круглого газохода, установленному перпендикулярно.

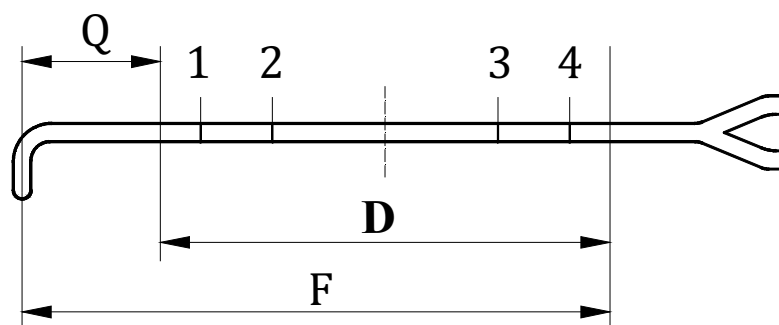


Рисунок 16. Разметка газонапорной трубки для измерения скорости в газоходе.

Пример:

Длина F – 92 см; Длина штуцера Q – 12 см.



Как разметить газонапорную трубку?

Находим диаметр газохода: $F - Q = 92 \text{ см} - 12 \text{ см} = 80 \text{ см} (D)$

По таблице 3 находим число точек отбора проб на линии: четн. – 4; нечетн. – 5.

Выбираем четное количество точек на линии – 4 ($N=4$).

По Таблице 1 находим расстояние от стенки газохода до точек отбора (для $N=4$):

Точка 1 – $80 \text{ см} \times 6,7\% = 5,4 \text{ см}$

Точка 2 – $80 \text{ см} \times 25\% = 20 \text{ см}$

Точка 3 – $80 \text{ см} \times 75\% = 60 \text{ см}$

Точка 4 – $80 \text{ см} \times 93,3\% = 74,6 \text{ см}$

Разметка газонапорной трубки: $Q + \text{Точка } i$

Метка 1 - $5,4 \text{ см} + 12 \text{ см} = 17,4 \text{ см}$

Метка 2 - $20 \text{ см} + 12 \text{ см} = 32 \text{ см}$


Метка 3 - $60 \text{ см} + 12 \text{ см} = 72 \text{ см}$

Метка 4 - $74,6 \text{ см} + 12 \text{ см} = 86,6 \text{ см}$

4.4. Измерения скорости газового потока

Скорость газового потока в трубе измеряют посредством прямого измерения динамического давления потока с помощью газонапорной трубки и манометра, подсоединенного к концам трубки (см. Рисунок 12). Одновременно измеряют температуру газа, статическое давление, атмосферное давление и состав газа (O_2 , CO_2 , N_2).

Динамическое давление измеряют в каждой точке, на которые разбита плоскость газотока. Газонапорную трубку перемещают по диаметру газотока от ближней стенки к дальней, а затем наоборот, останавливая её в каждой измерительной точке. Показания манометра записывают в журнал. Измерения по второму диаметру газотока выполняют аналогично.

 Скорость (v) в м/с газового потока определяют методом измерения динамического давления газа ($P_{дин}$) по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{2 \times K_T \times P_{дин}}{\rho_{p.y.}}}$$

где $\rho_{p.y.}$ - плотность газа при рабочих условиях, г/л ($кг/м^3$);

$P_{дин}$ - динамическое давление, Па; [$P_{дин} (Па) = 9,8 \times P_{дин} (мм \text{ водн. ст.})$]

K_T - коэффициент напорной трубки, определяемый при ее метрологической аттестации*.

* Для трубок Пито (L-тип) K_T равен 0,95 - 1,0

* Для трубок Пито (S-образная) равен 0,60 - 0,8 .

* Для напорных трубок НИИОГаз K_T равен 0,50-0,65.

Плотность газа при рабочих условиях вычисляют по формуле

$$\rho_{p.y.} = 2,695 \cdot \rho_N^{влаж} \frac{(P_{атм} + P_{стат})}{273 + T}$$

где $\rho_N^{влаж}$ - плотность влажного газа при нормальных условиях, г/л ($кг/м^3$);

T - температура газа в газотоке, °C;

$P_{атм}$ - атмосферное давление воздуха, кПа.

$P_{стат}$ - статическое давление в газотоке, кПа.


Плотность сухого газа при нормальных условиях $\rho_N^{сух}$:

$$\rho_N^{сух} = \frac{1}{100} \sum_j \frac{M_j \cdot \Omega_j}{22,4},$$

где M_j - значения молекулярной массы j-го компонента газовой смеси; г/моль

Ω_j - объемная доля j-го компонента газовой смеси, %;

22,4 - мольный объем при нормальных условиях, л/моль.

 Если известны плотности компонентов газовой смеси при нормальных условиях $\rho_{H.y.}(j)$, то плотность газовой смеси вычисляют по формуле

$$\rho_N^{сух} = \sum_j \frac{\rho_{H.y.}(j) \times \Omega_j}{100}$$



$$\rho_{H.Y.} (O_2) = 1,429 \text{ г/л}$$

$$\rho_{H.Y.} (CO_2) = 1,977 \text{ г/л}$$

$$\rho_{H.Y.} (N_2) = 1,251 \text{ г/л}$$



Для приближенных расчетов плотность дымовых газов при нормальных условиях принимают равной плотности воздуха ($\rho_N^{сух} = 1,29 \text{ кг/м}^3$).

Плотность влажных газов при нормальных условиях $\rho_N^{влаж}$, может быть рассчитана:

$$\rho_N^{влаж} = \frac{\rho_N^{сух} + f_N}{1 + 1,244 \cdot f_N}$$

где 1,244 - объем 1г водяного пара, приведенной к н.у. ; л/г ;

f_N - концентрация водяных паров в пересчете на (н.у.), (г/л сухого газа) , (кг/м³ сухого газа).

Расчет скорости потока проводится в каждой точке, а после рассчитывается среднеарифметическая скорость, которую принимают как усредненную скорость газового потока в трубе:

$$v_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i$$

Пример:

Динамическое давление в 4 точках: 100 Па, 150 Па, 125 Па, 90 Па.

Коэффициент трубки НИИОГаз: $K_T = 0,60$

Температура в газоходе: 180°C.

Атмосферное давление: 101,3 кПа

Статическое давление: -5,0 кПа

Плотность сухого газа при н.у. : 1,29 г/л

Концентрация водяного пара: 0,10 г/л сухого газа



Рассчитать среднюю скорость газового потока ?

1. Находим плотность влажного газа при н.у.:

$$\rho_N^{влаж} = \frac{1,29 \text{ г/л} + 0,1 \text{ г/л}_{\text{СУХОГО ГАЗА}}}{1 + 1,244 \cdot 0,1 \text{ г/л}_{\text{СУХОГО ГАЗА}}} = 1,24 \text{ г/л}$$

2. Находим плотность влажного газа при рабочих условиях:

$$\rho_{p.y.} = 2,695 \cdot \rho_N^{влаж} \cdot \frac{(P_{ATM} + P_{СТАТ})}{273 + T} = 2,695 \cdot 1,24 \cdot \frac{(101,3 - 5,0)}{(273 + 180)} = 0,71 \text{ г/л}$$

3. Находим скорости в каждой точке:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \times 0,6 \times 100 \text{ Па}}{0,71}} = 13,0 \text{ м/с} ; \quad v_2 = \sqrt{\frac{2 \times 0,6 \times 150 \text{ Па}}{0,71}} = 15,9 \text{ м/с} ;$$

$$v_3 = \sqrt{\frac{2 \times 0,6 \times 125 \text{ Па}}{0,71}} = 14,5 \text{ м/с} ; \quad v_4 = \sqrt{\frac{2 \times 0,6 \times 90 \text{ Па}}{0,71}} = 12,3 \text{ м/с} .$$

4. Находим среднюю скорость потока в газоходе:

$$v_{cp} = (13,0 + 15,9 + 14,5 + 12,3) / 4 = 13,9 \text{ м/с}$$

4.5. Расчет объёмного расхода

Объёмный расход влажного газа ($W_{p.y.}^{вл}$) при рабочих условиях, определяемый по средней скорости газа (v_{cp}), вычисляют по формуле

$$W_{p.y.}^{вл} = v_{cp} \times S$$

где S - площадь измерительного сечения газохода, m^2 .

В расчетах для определения выбросов, необходимо перевести объёмный расход к нормальным условиям ($0^\circ C$, $101,3$ кПа) сухого газа.

Вначале пересчитываем на объёмный расход влажных газов при н.у. по формуле:

$$W_{н.у.}^{вл} = 2,695 \cdot W_{p.y.}^{вл} \cdot \frac{(P_{ATM} + P_{СТАТ})}{273 + T}$$

Затем, рассчитываем объёмный расход сухих газов при н.у. по формуле:

$$W_{н.у.}^{сух} = W_{н.у.}^{вл} \cdot \frac{0,804}{0,804 + f_N}$$

где $0,804$ - идеальная плотность водяных паров, в г/л при н.у.

f_N - концентрация водяных паров в пересчете на (н.у.), (г/л сухого газа), (кг/м³ сухого газа).

Пример:

Динамическое давление в 4 точках: 80 Па, 100 Па, 110 Па, 95 Па.

Коэффициент трубки Пито: $K_T = 0,60$

Температура в газоходе: $150^\circ C$.

Атмосферное давление: $102,0$ кПа

Статическое давление: $-3,0$ кПа

Концентрация O_2 : $8,0$ %

Концентрация CO_2 : $10,0$ %

Концентрация водяного пара (f_N): $0,15$ г/л сухого газа (150 г/м³ сухого газа)

Диаметр газохода: $0,80$ м (80 см)



Рассчитать объёмный расход сухих уходящих газов при н.у. ?

1. Определяем плотность сухого газа при н.у.:

$$\rho_N^{сух} = \sum_j \frac{\rho_j^N \times \Omega_j}{100} =$$

$$= \frac{1,429 \text{ г/л} \times 8\% \{O_2\} + 1,977 \text{ г/л} \times 10\% \{CO_2\} + 1,251 \text{ г/л} \times (100-8-10)\% \{N_2\}}{100 \%} = 1,338 \text{ г/л}$$

2. Находим плотность влажного газа при н.у.:

$$\rho_N^{влаж} = \frac{1,338 \text{ г/л} + 0,15 \text{ г/л}_{сухогогаза}}{1 + 1,244 \cdot 0,15 \text{ г/л}_{сухогогаза}} = 1,256 \text{ г/л}$$

3. Находим плотность влажного газа при рабочих условиях:

$$\rho_{p.y.} = 2,695 \cdot \rho_N^{влаж} \cdot \frac{(P_{ATM} + P_{СТАТ})}{273 + T} = 2,695 \cdot 1,256 \cdot \frac{(102 - 3)}{(273 + 150)} = 0,792 \text{ г/л}$$

4. Находим скорости в каждой точке:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \times 0,6 \times 80 \text{ Па}}{0,792}} = 11,0 \text{ м/с}; \quad v_2 = \sqrt{\frac{2 \times 0,6 \times 100 \text{ Па}}{0,792}} = 12,3 \text{ м/с};$$

$$v_3 = \sqrt{\frac{2 \times 0,6 \times 110 \text{ Па}}{0,792}} = 12,9 \text{ м/с} ; \quad v_4 = \sqrt{\frac{2 \times 0,6 \times 95 \text{ Па}}{0,792}} = 12,0 \text{ м/с} .$$

5. Находим среднюю скорость потока в газохоме:

$$v_{cp} = (11,0 + 12,3 + 12,9 + 12,0)/4 = \mathbf{12,05 \text{ м/с}}$$

6. Находим площадь сечения газохоме:

$$s = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3,1415 \times 0,80^2}{4} = 0,503 \text{ м}^2$$

7. Находим объемный расход влажного газа ($W_{p.y.}^{\text{влаж}}$) при рабочих условиях:

$$W_{p.y.}^{\text{влаж}} = v_{cp} \times s = 12,05 \text{ м/с} \times 0,503 \text{ м}^2 = 6,06 \text{ м}^3/\text{с}$$

8. Находим объемный расход влажного газа ($W_{н.у.}^{\text{влаж}}$) при нормальных условиях:

$$W_{н.у.}^{\text{влаж}} = 2,695 \cdot W_{p.y.}^{\text{влаж}} \cdot \frac{(P_{ATM} + P_{CTAT})}{273 + T} = 2,695 \cdot 6,06 \cdot \frac{(102 - 3)}{(273 + 150)} = 3,82 \text{ м}^3/\text{с}$$

9. Находим объемный расход сухого газа ($W_{н.у.}^{\text{сух}}$) при нормальных условиях:

$$W_{н.у.}^{\text{сух}} = W_{н.у.}^{\text{влаж}} \cdot \frac{0,804}{0,804 + f_N} = 3,82 \cdot \frac{0,804}{0,804 + 0,15} = \mathbf{3,22 \text{ м}^3/\text{с}}$$

5. Измерение концентрации пыли в газоходе.

5.1. Краткое изложение метода отбора проб пыли (взвешенных).

Анализируемый пылегазовый поток отбирают из основного потока в установленных точках отбора проб в течение измеряемого периода времени при контролируемом изокINETическом расходе. Измеряют газовый объём $[V(\text{м}^3)]$ отобранной пробы пылегазового потока. Предварительно взвешенный фильтр, который после отбора подвергается осушке и повторному взвешиванию, отделяет твердые частицы (пыль), увлекаемые пробой. Отношение массы пыли $[m_{\text{пыли}} (\text{г})]$, собранной на фильтре, к газовому объёму $[V(\text{м}^3)]$ отобранной пробы позволяет рассчитать концентрацию пыли $[C(\text{г}/\text{м}^3)]$ в пылегазовом потоке.

$$C_{\text{н.у.}}(\text{г}/\text{м}^3) = m_{\text{пыли}} (\text{г}) / V_{\text{н.у.}}(\text{м}^3)$$

Проба извлекается с помощью пробоотборной линии которая состоит из:

1. пробоотборная трубка (зонд) с наконечником ;
2. фильтр и фильтродержатель для внутренней или внешней фильтрации ;
3. охладитель и осушитель газовой пробы;
4. ротаметр и/или счётчик газа ;
5. аспирационная система (насос) .

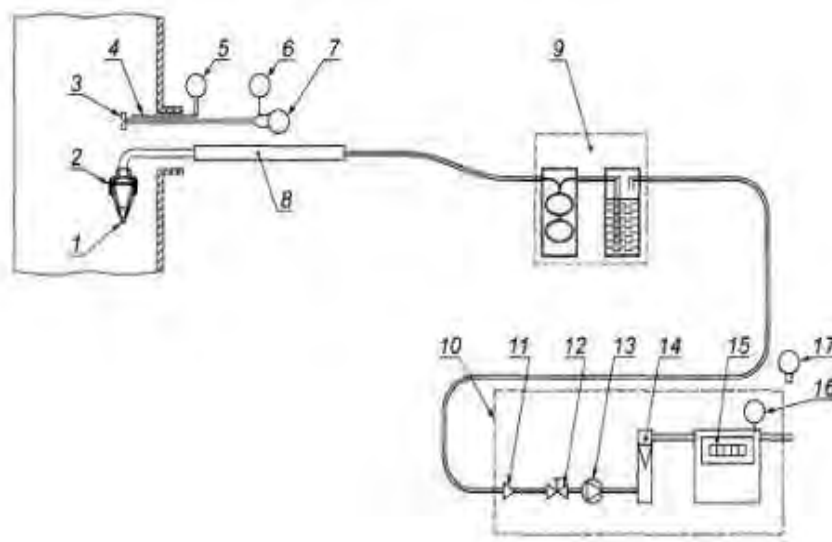


Рисунок 17. Пример системы отбора проб внутренней фильтрацией (фильтр внутри газохода)

1 – наконечник пробоотборника ; 2 – фильтродержатель с фильтром; 3 - трубка Пито; 4 - зонд для измерения температуры; 5 – термометр (датчик); 6 - статическое давление; 7 - дифференциальное давление; 8 - опорная трубка; 9 - система охлаждения и осушки ; 10 - всасывающее устройство и газовый счетчик; 11 - запорно-выпускной клапан; 12 - клапан для регулирования скорости всасывания; 13 - насос; 14 - расходомер; 15 – газовый счетчик; 16 – температура в газовом счетчике; 17 - барометр (атмосферное давление).

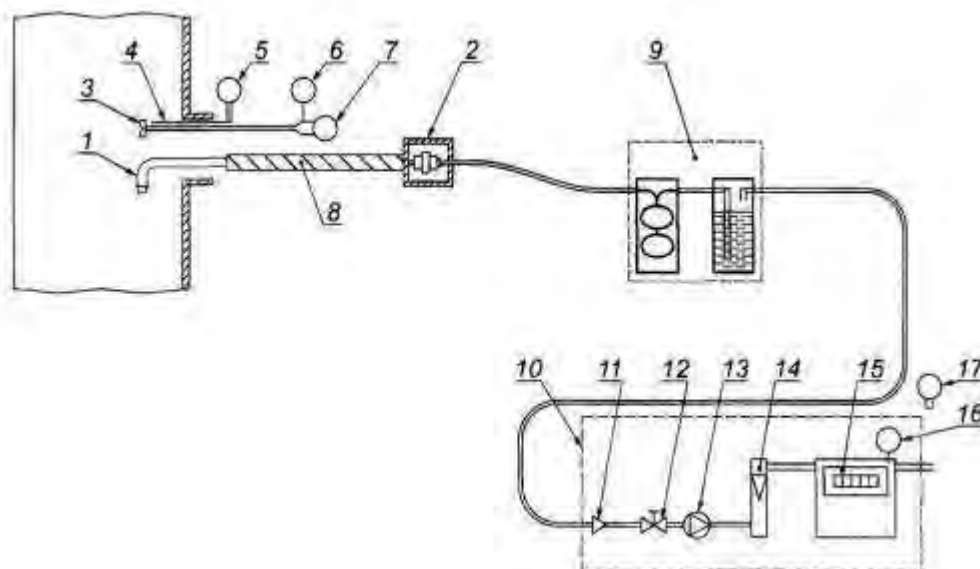


Рисунок 18. Пример системы отбора проб внешней фильтрацией (фильтр за пределами газохода)

1 – наконечник пробоотборника; 2 – обогреваемый фильтродержатель с фильтром; 3 – трубка Пито; 4 – зонд для измерения температуры; 5 – термометр (датчик); 6 – статическое давление; 7 – дифференциальное давление; 8 – обогреваемая опорная трубка; 9 – система охлаждения и осушки; 10 – всасывающее устройство и газовый счетчик; 11 – запорно-выпускной клапан; 12 – клапан для регулирования; 13 – насос; 14 – расходомер; 15 – газовый счетчик; 16 – температура в газовом счетчике; 17 – барометр (атмосферное давление).


5.2. Последовательность измерений характеристик газового потока для подготовки к отбору проб.

Пробы пыли целесообразно отбирать по точкам газохода по которым был разбит газоход для определения скорости газового потока. (Рисунок 7).

Пробы пыли должны быть отобраны изокинетично (скорость газопылевого потока равна скорости потока в насадке пробоотборного зонда), в противном случае, полученный результат концентрации пыли будет недостоверным.

Оператор должен получить все данные характеристики газового потока:

1. Температура
2. Давление внутри газохода
3. Компонентный состав уходящих газов
4. Содержание водяного пара
5. Плотность уходящих газов в газоходе при рабочих условиях
6. Динамическое давление потока в каждой точке отбора

 Рекомендуется перед отбором пробы на фильтр, отобрать пробу газового потока для определения содержания водяного пара.

Влага определяется гравиметрическим методом. Через 2 барботера, наполненных водой, находящиеся в холодной воде с температурой не более +4°C (можно заменить снегом) и подсоединенных на выходе к осушителю (например заполненный сухим силикагелем), пропускается газо-воздушная смесь из газохода в течении 10 – 20 минут с постоянным расходом 10-15 л/мин. Предпочтительно на выходе из насоса или аспиратора поставить газовый счетчик с термопарой, для точного определения прошедшего сухого воздуха.

Для вычисления влаги – барботёры и осушитель взвешивают до и после отбора газа и определяют массу уловленной влаги (H_2O) [предпочтительно проводить взвешивание на месте измерения на переносных весах с погрешностью не более $\pm 0,1$ г].

Пропущенный объем газа через ротаметр аспиратора фиксируют, измеряют температуру газа перед ротаметром и разряжение перед ротаметром. Содержание влаги определяют по формуле:

$$f_N = \frac{0,371 \times m_{\text{воды}} \times (T_{\text{аспир}} + 273)}{t_{\text{мин}} \times v_{\text{аспир}} \times (P_{\text{атм}} - P_{\text{аспир}})}$$

где

f_N - концентрация водяных паров в пересчете на (н.у.), (г/л сухого газа)

$m_{\text{воды}}$ - суммарная масса уловленной влаги , (г)

$T_{\text{аспир}}$ - температура газа перед ротаметром аспиратора, (°C)

$t_{\text{мин}}$ - время отбора газа, (мин)

$v_{\text{аспир}}$ - скорость расхода аспиратора , (л/мин)

$P_{\text{атм}}$ - давление атмосферного воздуха, (кПа)

$P_{\text{аспир}}$ - разряжение перед ротаметром аспиратора, (кПа)

Определив плотность уходящих газов в газоходе при рабочих условиях, определяют скорости потока газа в каждой точке отбора.

Далее рассчитывают диаметр наконечника d (мм) на пробоотборный зонд по формуле:

$$d(\text{мм}) = \frac{24}{\sqrt{v_S}}$$

v_S - скорость потока в точке отбора, (м/с)

Затем, рассчитывают скорость прокачки аспиратора для каждой точки отбора для условий изокINETического отбора:

$$v_{\text{аспир}}(\text{л/мин}) = \frac{v_S \cdot d^2 \cdot (P_{\text{атм}} + P_{\text{стат}}) \cdot (T_{\text{аспир}} + 273)}{2122 \cdot (P_{\text{атм}} - P_{\text{аспир}}) \cdot (T + 273)} \cdot \left(\frac{0,804}{0,804 + f_N} \right)$$

где

$v_{\text{аспир}}$ - скорость расхода аспиратора , (л/мин)

T - температура газа в газоходе, °C;

$P_{\text{атм}}$ - атмосферное давление воздуха, кПа.

$P_{\text{стат}}$ - статическое давление в газоходе, кПа.

v_S - скорость потока в точке отбора, (м/с)

d - диаметр насадки, (мм)

$T_{\text{аспир}}$ - температура газа перед ротаметром аспиратора, (°C)

$P_{\text{атм}}$ - давление атмосферного воздуха, (кПа)

$P_{\text{аспир}}$ - разряжение перед ротаметром аспиратора, (кПа)

f_N - концентрация водяных паров в пересчете на (н.у.), (г/л сухого газа)

Оптимальная скорость отбора пробы пыли обычно составляет 10 – 40 л/мин.



Связанная картина необходимых последовательных измерений и вычислений для определения объёмного расхода в газоходе $W(\text{м}^3/\text{с})$, концентрации пыли $C(\text{г}/\text{м}^3)$, и выброса пыли $M(\text{г}/\text{с})$ представлена на диаграмме рисунка 19.

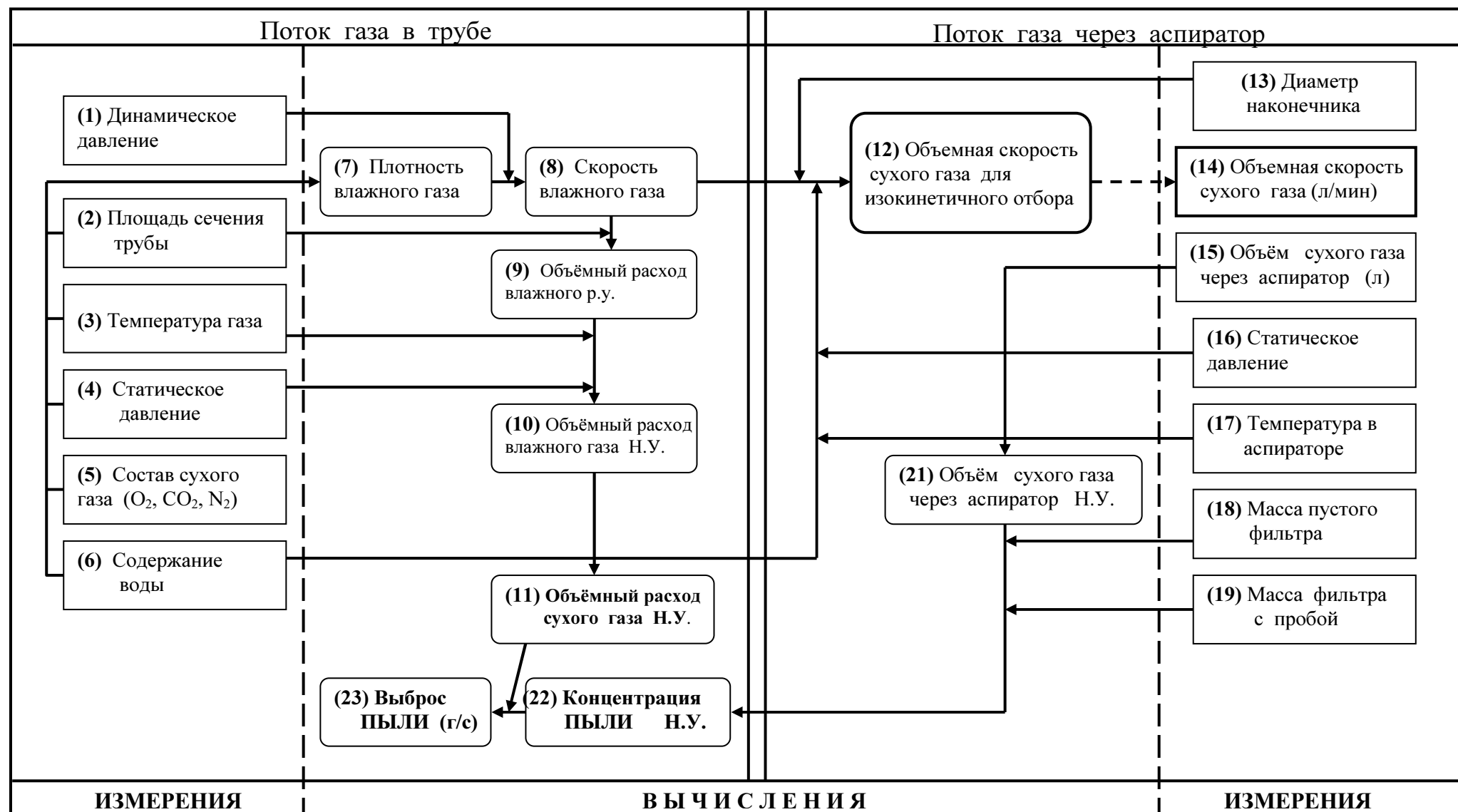


Рисунок 19. Диаграмма последовательных измерений и вычислений для нахождения Объёмного расхода газа, Концентрации пыли и Выброса пыли

Из диаграммы на рисунке 19 можно увидеть, что из расчетов скорости газа в трубе (8), измерения температуры (3), статического давления (4), содержания воды (6), состава мы можем рассчитать плотность газа в трубе. Это включается в формулу для вычисления скорости вместе с измеренным динамическим давлением (1)

Используя скорость газа в трубе (8), и площадь сечения трубы (2), можно рассчитать объёмный расход газа в газоходе при различных условиях: влажного газа при (р.у.) (9), влажного газа при (н.у.) (10), сухого газа при (н.у.) (11). Для изокINETического отбора проб, выбирается удобный диаметр наконечника, в зависимости от мощности насоса, скорости газа в трубе, концентрации взвешенных.

Объёмная скорость газа через аспиратор для изокINETического отбора (12), определяется диаметром наконечника (13), скоростью газа в точке отбора (8), характеристиками газа в трубе: температурой (3), статическим давлением (4), содержанием воды (6), а также давлением в газовом счетчике (16), и температурой в счетчике (17). Скорость потока устанавливается соответственной.

Объем газа прошедшего через аспиратор (15) измеряется, и полученное значение приводят к нормальным условиям (н.у.) (21) (при расчетах используются данные статического давления (16) и температуры (17) в аспираторе).

После отбора пробы пыли (взвешенных) на фильтр, определяется масса осевшей пыли на фильтр – вычитая массу пустого фильтра (18) из массы фильтра с отобранной пробой (19). Таким образом, мы получим общую массу взвешенных частиц. Концентрация взвешенных рассчитывается, как отношение массы пыли (взвешенных) [(18) – (19)] к объему сухого газа при н.у. прошедший через аспиратор (21). Выброс пыли (взвешенных веществ) (23) будет равен произведению концентрации (22) на объёмный расход сухого газа в трубе при н.у. (11).

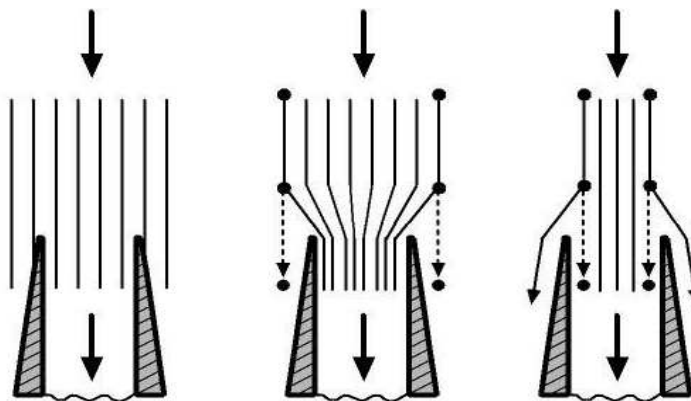
5.3 ИЗОКИНЕТИЧНЫЙ ОТБОР ПРОБ И ОТКЛОНЕНИЯ ОТ НЕГО

Пробы пыли должны быть отобраны изокINETично (скорость потока газа в точке отбора равняется скорости потока в носике пробоотборного зонда), в противном случае, полученный результат концентрации пыли будет недостоверным.

ИзокINETический отбор проб. Отбор пробы при котором скорость и направление газа входящего в насадку пробоотборной трубки (v_n) совпадает со скоростью газа в газоходе в точке отбора (v_s).

Отношение скоростей v_n/v_s , выраженное в долях, характеризует отклонение от условия изокINETичности отбора проб.

Проба пыли, отобранная при соотношении v_n/v_s от 0,95 до 1,15 - считается отобранной изокINETично.



	Изокинетично $v_n/v_s = 1$	v в насадке $> v$ газа $v_n/v_s > 1$	v в насадке $< v$ газа $v_n/v_s < 1$
Концентрация в насадке	Точная	пониженная	повышенная
Масса пыли на фильтре	Точная	недостаточная	избыточная

Рисунок 20. Правильный и ошибочные способы отбора проб пыли

5.4. Определение плотности газа при сжигании различного вида топлива

Если газо-воздушная смесь образуется от сжигания топлива (газ, мазут, уголь) - потребуется использовать газоанализатор для определения состава уходящих газов и измерить содержание влаги.

Концентрация кислорода O_2 (объёмные %) в сухом газе

Для определения содержания O_2 необходим газоанализатор. Измерения кислорода – один из ключевых замеров, по которому определяется не только плотность воздуха, но также можно вычислить объёмный расход газо-воздушной смеси, и правильно вычислить выбросы загрязняющих веществ, вычислить коэффициент избытка воздуха и потери тепла с уходящими газами.

Измерения кислорода должны быть проведены по всему сечению газотока – как в центре газотока, так и по краям (минимум – 3 точки), чтобы убедиться, что в газотоке нет подсосов и по этому сечению можно проводить измерения.

В противном случае (при разнице в точках $>2\%$ по O_2 при содержании O_2 от 1 до 12 %, и $>1\%$ по O_2 при содержании O_2 от 12 до 20 %) должно быть выбрано другое место для измерения или необходимо устранить подсосы по газотоку.

Однако, требуется убедиться, что разница в концентрациях никак не связана с работой оборудования – процесс сжигания идет стабильно и равномерно и концентрация в одной точке никак не меняется со временем.

Необходимо записать измеренные значения и вычислить среднюю концентрацию кислорода.

* Концентрацию кислорода можно измерить совместно с измерениями температуры, если термопара совмещена с зондом газоанализатора.

** Газоанализатор перед началом измерения необходимо проверить. Вначале на зонд надевается заглушка – газоанализатор должен показать расход газа 0,0 л/мин (иначе проверить зонд, шланги и штуцера на подсосы !!). После по ПГС (не содержащему O_2) проверить концентрацию O_2 – должен показать 0,0 - 0,2 % (не больше; иначе требуется откалибровать кислородную ячейку !!). После проверить показания газоанализатора по атмосферному воздуху – должен показывать 20,5 – 21,0 % (не меньше, иначе требуется откалибровать кислородную ячейку !!). Если есть ПГС для O_2 – необходимо проверить

показания газоанализатора (отклонения не должны превышать $\pm 0,4\%$ O_2 от аттестованного значения). После вышеперечисленных процедур газоанализатор готов к проведению измерений.

Концентрация диоксида углерода CO_2 (объёмные %) в сухом газе

Для инструментального определения содержания CO_2 необходим газоанализатор с измерительной ячейкой по CO_2 (например ИК-датчик).

Или концентрацию CO_2 можно вычислить по содержанию кислорода, если известно сжигаемое топливо.

Также расчетным путем можно вычислить содержание влаги, плотность сухого и влажного уходящего газа. (см. Таблицу 5).

Если уходящие газы содержат повышенное содержание влаги (например уходящие газы от сушильных барабанов, газы от сжигания влажного топлива, газы после выхода из ПГУ использующих воду [пенно-струйный уловитель, мокрые циклоны, СИОТы]), необходимы инструментальные измерения содержания влаги в уходящих газах.

Содержание влаги H_2O (г/м³ сухого газа)

Для корректного определения плотности уходящих газов, а следовательно и корректного определения скорости уходящих газов, необходимо определить влажность ДО начала измерения скорости в трубе !

Таблица 5. Расчета содержания CO_2 , H_2O , плотности сухих и влажных уходящих газов по концентрации O_2 для сжигаемого топлива.

Топливо	Содержание CO_2 в сухом газе, % об.	Содержание H_2O во влажном газе, % об. для СУХОГО топлива	Плотность сухого газа, г/л	Плотность влажного газа, г/л для СУХОГО топлива
1	2	3	4	5
Метан	$11,5 - 0,558 \times O_2 \%$	$19,35 - 0,904 \times O_2 \%$	$1,339 - 0,00223 \times O_2 \%$	$1,237 + 0,00261 \times O_2 \%$
Этан	$13,0 - 0,627 \times O_2 \%$	$16,7 - 0,785 \times O_2 \%$	$1,349 - 0,00272 \times O_2 \%$	$1,259 + 0,00157 \times O_2 \%$
Пропан	$13,5 - 0,654 \times O_2 \%$	$15,7 - 0,737 \times O_2 \%$	$1,353 - 0,00291 \times O_2 \%$	$1,268 + 0,00115 \times O_2 \%$
Бутан	$13,8 - 0,669 \times O_2 \%$	$15,2 - 0,711 \times O_2 \%$	$1,355 - 0,00302 \times O_2 \%$	$1,273 + 0,00091 \times O_2 \%$
Дерево (сухое)	$21 - O_2 \%$	$17,9 - 0,822 \times O_2 \%$	$1,405 - 0,00536 \times O_2 \%$	$1,301 - 0,00038 \times O_2 \%$
Мазут	$15,9 - 0,767 \times O_2 \%$	$10,9 - 0,513 \times O_2 \%$	$1,370 - 0,00371 \times O_2 \%$	$1,310 - 0,00080 \times O_2 \%$
Уголь (сухой)	$17,6 - 0,842 \times O_2 \%$	$7,8 - 0,369 \times O_2 \%$	$1,381 - 0,00424 \times O_2 \%$	$1,337 - 0,00211 \times O_2 \%$

5.5. Особенности отбора проб пыли.

Время отбора пробы пыли на фильтр зависит от запыленности газового потока и обычно составляет 5 – 20 минут (чем больше запыленность – тем меньше время отбора). На газоходе должно быть отобрано не менее 3-х фильтров. При меньшем времени отбора следует увеличить количество фильтров : 4 – 8 шт.

Во время отбора желательно следить за изменениями скорости в трубе в выбранной реперной точке газохода. В случае изменения динамического давления от первоначальной более 40% - необходимо или прекратить отбор проб (зафиксировав время и расход

прокачки), или изменить скорость прокачки, пропорционально изменениям динамического давления в реперной точке:

$$V_{нов}(л/мин) = V_{стар}(л/мин) \sqrt{\frac{P_{нов}(Па)}{P_{стар}(Па)}}$$

$V_{нов}$ - новая скорость отбора, (л/мин)

$V_{стар}$ - старая скорость отбора, (л/мин)

$P_{нов}$ - изменившееся динамическое давление в реперной точке, (Па)

$P_{стар}$ - первоначальное динамическое давление в реперной точке, (Па)



После отбора пробы пыли, необходимо провести повторные измерения динамического давления в точках газохода, а также измерить температуру в газоходе, содержание кислорода и газовых загрязняющих веществ. Если в газоходе изменились скорость газового потока или температура, следует рассчитать скорость прокачки проб пыли через аспиратор для новых условий газового потока.

В случае, если значение динамического давления в реперной точке на меняется, можно продолжить отбор следующих проб пыли по первому расчету, но по окончании отбора проб пыли – необходимо заново измерить скорости потока в трубе, температуру и содержание кислорода.

Отбор проб пыли всегда предпочтительно отбирать по всей площади газохода – в точках где измерялись скорости. Для горизонтального газохода, обязательно требуется отбирать в точках расположенных сверху, посередине и внизу газохода, т.к. концентрация пыли в этих точках может существенно отличаться. По возможности, на один фильтр следует отобрать пыль по всем точкам в газоходе (время отбора в каждой точке должно быть одинаковым – это важно, особенно, если концентрации пыли в разных точках сильно отличаются). При невозможности отобрать пыль по всем точкам (фильтр забивается или может порваться), отбор осуществляется с несколькими фильтрами. Общая концентрация рассчитывается как усредненная концентрация по отобраным фильтрам:

$$C_{\text{усредненная}} (12 \text{ точек}) = C1 (6 \text{ точек}) \times 6/12 + C2 (4 \text{ точки}) \times 4/12 + C3 (2 \text{ точки}) \times 2/12$$

Если разброс минимальной и максимальной скорости в точках не превышает 30% -

$1,3 > V_{\text{макс}} (\text{м/с}) / V_{\text{мин}} (\text{м/с})$ - отбор проб можно проводить при одной скорости прокачки:

$$V_{\text{прокачки}} (\text{м/с}) = [V_{\text{макс}} (\text{м/с}) + V_{\text{мин}} (\text{м/с})] / 2,05$$

Если разброс превышает 30% - потребуется проводить отбор при разных скоростях прокачки. Но основной принцип отбора остается – разница между минимальной и максимальной скоростью не превышает 30%.

Отбор можно проводить как на один фильтр, так и на несколько, но время отбора в каждой точке должно быть одинаковым.

* В случае, если в некоторых точках скорости близки к нулю (скорость менее 4 м/с) – то в этих точках можно не проводить отбор – влияние этих точек на общую концентрацию незначительное.

** Если скорости в точках по всей площади газохода меньше 4 м/с - потребуется уточнить коэффициент газонапорной трубки при низких скоростях (при его отсутствии - самостоятельно определить коэффициент на низких скоростях от 2 до 5 м/с), рассчитать скорости в точках с новым коэффициентом и отобрать пыль на максимальном диаметре носика 10 – 20 мм, увеличив время отбора пробы: 30 – 60 минут.

5.6 Время отбора проб

Полагая известной характеристику объемного расхода используемой системы отбора проб, может быть рассчитано время отбора проб, при котором на фильтре будет собрана ожидаемая или необходимая масса твердых частиц, если их приблизительная концентрация известна заранее.

Если ожидаемую концентрацию пыли C_{exp} предварительно определяют или полагают известной, а массу собираемых твердых частиц m задают или устанавливают, необходимый объем $V_n(l)$, отбираемого отходящего пылегазового потока вычисляют по формуле:

$$V_n = \frac{m}{C_{exp}}.$$

Однако объем пробы V_n равен произведению общего времени отбора проб t , мин, на объемный расход (газа) в насадке Q_a , л/мин, в реальных условиях, т.е. $V_n = tQ_a$.

Общее время отбора проб в плоскости отбора проб вычисляют по формуле:

$$t = \frac{V_n}{Q_a} \text{ или } t = \frac{m}{C_{exp} Q_a}.$$

5.7. Влияющие факторы на результаты определения концентрации пыли

а) Положительные влияющие факторы

Некоторые газообразные вещества, присутствующие в пылегазовых потоках, могут вступать в реакции, приводящие к образованию твердых частиц в пределах системы отбора проб, что может привести к завышению результата измерения. Примерами могут быть возможные реакции диоксида серы (SO_2), приводящие к образованию нерастворимого сульфата в той части системы, где наблюдается высокая влажность. Например образование сульфата кальция ($CaSO_4$) - при взаимодействии SO_2 с известняком в отходящем пылегазовом потоке после системы десульфуризации влажного отходящего пылегазового потока или сульфата аммония (NH_4SO_4) - при взаимодействии с газообразным аммиаком (NH_3).

б) Отрицательные влияющие факторы

1) Некоторые газообразные кислоты могут разрушать материал фильтра, что приводит к занижению результата измерения. Примером может служить реакция фтористого водорода (HF) с компонентами, изготовленными из стекла в системе отбора проб.

2) Летучие вещества, присутствующие в отходящем газе и находящиеся в твердом или жидком состоянии, могут испаряться после осаждения на фильтрующем материале системы отбора проб из-за непрерывного контакта с горячим потоком пробы во время отбора проб. Это также может привести к занижению результата измерения (массовой концентрации твердых частиц).

6. Аппаратура и материалы

6.1 Устройства для определения скорости, температуры, давления и состава пылегазового потока

Измерения скорости проводят с использованием стандартных трубок Пито или других приборов, например трубок Пито s-типа, которые откалиброваны по стандартизованным трубкам Пито в соответствии с ИСО 10780.

Температура и давление в газоходе должны быть измерены для расчета действительной плотности пылегазового потока с погрешностью $\pm 0,05 \text{ кг/м}^3$, в расчет следует принимать также компонентный состав потока.

При пересчете значений массовой концентрации пыли на сухой пылегазовый поток и/или, если значения должны быть приведены относительно референтного содержания O_2 или CO_2 , измерение влажности (содержание влаги) и/или содержания O_2/CO_2 проводят в непосредственной близости от плоскости отбора проб.

6.2 Аппаратура для отбора проб

Система отбора проб состоит главным образом из:

- а) всасывающего патрубка (зонда для отбора проб) с входной насадкой;
- б) корпуса фильтра, включающего фильтр и фильтродержатель, расположенного в газоходе (фильтрование внутри газохода или метод внутренней фильтрации) или за его пределами (фильтрование за пределами газохода или метод внешней фильтрации), при этом системы отбора проб будут несколько различаться. При наличии капель воды используют фильтрование за пределами газохода;
- с) всасывающего устройства с газовым счетчиком.

6.2.1 Устройство для фильтрования

а) Устройства для фильтрования внутри газохода (см. рисунок 21): часть трубки между насадкой и фильтром должна быть очень короткой для сведения к минимуму осаждения пыли выше по потоку от фильтра. Трубка (всасывающий патрубок), расположенная после фильтра, должна иметь длину, достаточную для ее перемещения в установленные точки отбора проб. Поскольку температура фильтрования обычно одинаковая с температурой пылегазового потока в газоходе, может произойти закупорка фильтра, если пылегазовый поток содержит капли воды.

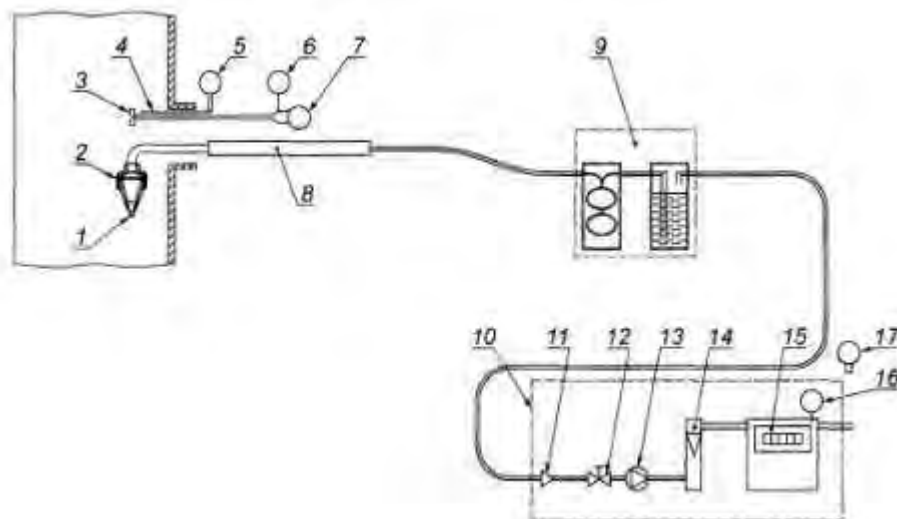


Рисунок 21. Пример системы отбора проб внутренней фильтрацией (фильтр внутри газохода)

1 – наконечник пробоотборника; 2 – фильтродержатель с фильтром; 3 – трубка Пито; 4 – зонд для измерения температуры; 5 – термометр (датчик); 6 – статическое давление; 7 – дифференциальное давление; 8 – опорная трубка; 9 – система охлаждения и осушки; 10 – всасывающее устройство и газовый счетчик; 11 – запорно-выпускной клапан; 12 – клапан для регулирования скорости всасывания; 13 – насос; 14 – расходомер; 15 – газовый счетчик; 16 – температура в газовом счетчике; 17 – барометр (атмосферное давление).

Для перемещения в газоход используют герметичную, жесткую трубку (опорную трубку) достаточной длины, расположенную ниже по потоку от корпуса фильтра и служащую механической опорой для насадки и корпуса фильтра.

в) Устройства для фильтрования за пределами газохода (рисунок 22): часть трубки между насадкой и фильтром (всасывающий патрубок) должна иметь длину, достаточную для ее перемещения в установленные точки отбора проб. Температуру всасывающего патрубка и корпуса фильтра регулируют, чтобы обеспечить испарение капель воды и избежать трудностей, связанных с кислыми газами, имеющими высокие температуры точек росы.

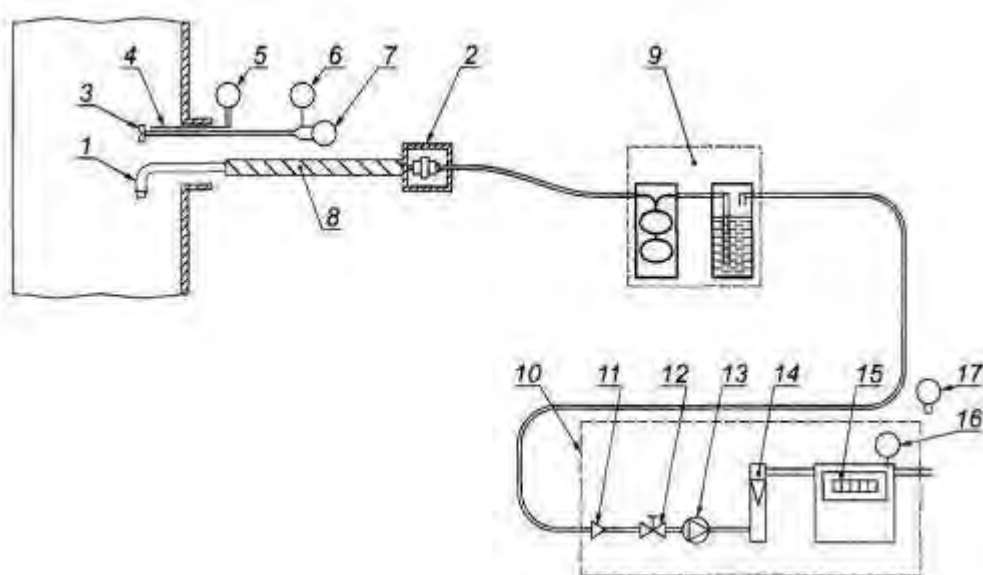


Рисунок 22. Пример системы отбора проб внешней фильтрацией (фильтр за пределами газохода)

1 – наконечник пробоотборника; 2 – обогреваемый фильтродержатель с фильтром; 3 – трубка Пито; 4 – зонд для измерения температуры; 5 – термометр (датчик); 6 – статическое давление; 7 – дифференциальное давление; 8 – обогреваемая опорная трубка; 9 – система охлаждения и осушки

; 10 - всасывающее устройство и газовый счетчик; 11 - запорно-выпускной клапан; 12 - клапан для регулирования; 13 - насос; 14 - расходомер; 15 – газовый счетчик; 16 – температура в газовом счетчике; 17 - барометр (атмосферное давление).

В некоторых случаях в пылегазовом потоке присутствуют капли воды, например после системы понижения влажности. Низкая температура (ниже известной точки росы процесса) является требованием настоящего стандарта. Если есть сомнения относительно присутствия капель воды, используют фильтрование за пределами газохода.

Устройства системы отбора проб должны быть сделаны из коррозионно-стойкого и, при необходимости, термостойкого материала, например, нержавеющей стали, титана, кварца или стекла. Однако, если планируется последующий анализ собранной пыли (например на содержание тяжелых металлов), части, находящиеся в контакте с отобранном газом, не должны быть сделаны из нержавеющей стали.

Поверхности частей (системы) выше по потоку от фильтра должны быть гладкими и хорошо отполированными, а число соединений должно быть минимальным. Любые изменения диаметра отверстия должны быть коническими, а не ступенчатыми.

Конструкцией устройств отбора проб должно быть обеспечено проведение очистки их внутренних частей выше по потоку от фильтра.

Все части оборудования, которые могут находиться в контакте с пробой, должны быть защищены от загрязнения во время транспортировки и хранения.

6.2.2 Комплект входных насадок

Комплект входных насадок должен включать остроконечные насадки различных диаметров, имеющие обтекаемую форму, не вызывающую возмущения основного пылегазового потока.

Насадку присоединяют либо к всасывающему патрубку (зонду для отбора проб), либо к корпусу фильтра.

Для предотвращения возмущений газового потока в области кончика насадки выполняют следующие требования:

а) насадка должна иметь постоянный внутренний диаметр на протяжении длины, равной по крайней мере одному ее внутреннему диаметру или 10 мм от ее кончика, в зависимости от того, что больше.

б) любое изменение внутреннего диаметра насадки должно быть постепенным с углом конуса менее 30°;

с) изгибы насадки должны находиться на расстоянии по крайней мере 30 мм от ее кончика;

д) любое изменение внешнего диаметра частей устройств отбора проб на расстоянии менее 50 мм от кончика насадки должно быть постепенным с углом конуса менее 30°;

е) препятствия, связанные с устройствами отбора проб, являются:

1) запрещенными выше по потоку от кончика насадки;

2) разрешенными около или ниже по потоку от кончика насадки, если они находятся на расстоянии, равном по крайней мере одному размеру препятствия или более 50 мм, в зависимости от того, что больше.

Поскольку по механическим причинам фаска насадки должна быть достаточной толщины, это приводит к неопределенности определения эффективной площади отбора пробы. Эта неопределенность должна составлять менее 10 % для выполнения условий изокINETического отбора проб. Поэтому используют насадки с внутренним диаметром более 8 мм, и не рекомендуется использовать насадки диаметром менее 4 мм.

6.2.3 Всасывающий патрубок (зонд для отбора проб) для систем фильтрования за пределами газохода

Всасывающий патрубок должен иметь гладкую и хорошо отполированную внутреннюю поверхность и конструкцию, позволяющую легко проводить очистку с использованием щетки или других механических приспособлений, которая необходима перед началом отбора проб.

Стенки всасывающего патрубка должны быть подогреты, и их температуру следует контролировать для уменьшения конденсации или образования побочных веществ.

6.2.4 Корпус фильтра, в который устанавливается фильтр и фильтродержатель

Когда корпус фильтра находится за пределами газохода, он должен быть подогрет и температуру следует контролировать для предотвращения конденсации.

Конструкцией корпуса и фильтродержателя должно быть исключено завихрение газового потока в области уплотнений.

Для снижения перепада давлений на фильтре и улучшения распределения пыли на фильтре рекомендуется использовать сетчатый фильтродержатель.

6.2.5 Фильтры

Следует применять фильтры с эффективностью более 99,0 %, полученной на контрольном аэрозоле со средним диаметром частиц 0,3 мкм при максимальном ожидаемом расходе.

Эффективность фильтра должна быть удостоверена производителем фильтра.

Материал фильтра не должен адсорбировать или вступать в реакции с газообразными соединениями, содержащимися в отобранной пробе, и должен быть термически устойчивым с учетом максимальной ожидаемой температуры.

При выборе фильтра также учитывают следующее:

- a) фильтры из стекловолокна могут реагировать с кислотными соединениями, такими как SO_3 , что может привести к увеличению массы фильтра. Их использование не рекомендуется там, где это может произойти;
- b) фильтры из кварцевых волокон зарекомендовали себя как эффективные в большинстве случаев, несмотря на малую механическую прочность;
- c) фильтры из политетрафторэтилена (далее - ПТФЭ) являются эффективными, однако температура газа, проходящего через фильтр, не должна превышать температуру, указанную производителем фильтров;
- d) размер фильтра выбирают в соответствии с максимальной допустимой массой твердых частиц, собираемых на фильтре. Это позволяет предотвратить потерю пыли из-за перегрузки

материала фильтра. Максимальное количество пыли, которое может быть собрано на фильтре, должно быть указано производителем фильтра;

е) перепад давлений на фильтре и повышение давления из-за сбора твердых частиц во время отбора проб, зависящие от вида фильтра (например, ожидаемый перепад давлений при скорости фильтрования 0,5 м/с составляет от 3 до 10 кПа);

ф) при использовании фильтров с органическим связующим веществом необходимо следить за тем, чтобы не было потерь массы фильтра из-за испарения органического вещества при нагревании;

g) значение нулевой пробы при измерении будет в некоторой степени зависеть от выбора фильтра (его механических свойств, совместимости с влажной средой и т.д.);

h) если планируется определять состав собранной пыли, то чистый фильтрующий материал должен быть испытан для определения присутствия и уровней содержания любых соответствующих анализируемых веществ;

і) при взвешивании некоторых видов фильтрующих материалов (например, ПТФЭ) следует избегать возникновения ошибок, связанных с электростатическими зарядами.

6.2.6 Комбинированные системы отбора проб твердых частиц/пылегазового потока (произвольной конструкции) для определения выбросов отходящих пылегазовых потоков

Когда газообразные соединения улавливаются ниже по потоку от фильтра, любые потери объема, изменения температуры или давления должны быть учтены для расчета скорости изокINETического отбора проб и объема отобранной пылегазовой пробы.

6.2.7 Всасывающее устройство и газомеры

Всасывающие устройства и газомеры (герметичные, коррозионно-стойкие и способные поддерживать вакуум) позволяют отбирать пробы отходящего пылегазового потока при рассчитанной скорости изокINETического отбора проб, соответствующей размеру насадки и параметрам отходящего пылегазового потока.

Система должна включать устройство регулировки расхода пробы, например, обходной клапан насоса или клапан для регулировки. Также в систему включают запорно-выпускное устройство для остановки пылегазового потока через систему отбора проб.

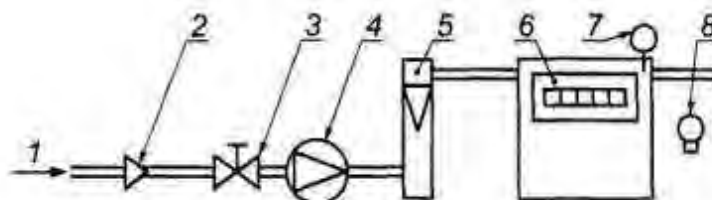
В зависимости от уровня влажности отбираемого пылегазового потока при компоновке устройств систем отбора проб используют три основные схемы. Допускается использование других схем, если доказано, что с их помощью получают такую же точность, как и с помощью компоновок, описанных ниже:

а) отбор проб сухого пылегазового потока с фильтром внутри газохода (см. рисунок 21) включает:

1) конденсор и/или осушительную колонну, обеспечивающие остаточную влажность менее 10 г/м³ при максимальном расходе;

2) герметичный или струйный насос, действующий как всасывающее устройство;

- 3) расходомер, используемый для обеспечения регулировки расхода, откалиброванный по волюметру сухого газа или измерительной диафрагме;
- 4) волюметр сухого газа или измерительную диафрагму, имеющие погрешность $\pm 2\%$ при ожидаемом расходе, если погрешность измерений соответствующих абсолютных давления и температуры составляет менее 1 %.

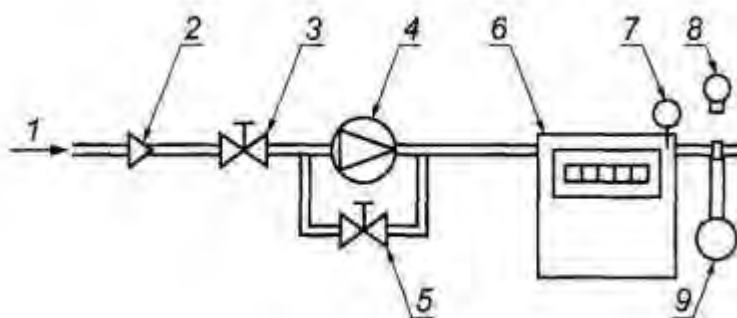


- 1 - поток сухой пылегазовой пробы; 2 - невозвратный клапан; 3 - запорно-выпускной клапан;
4 - насос; 5 - расходомер переменной площади; 6 - счетчик сухого газа; 7 - измеритель температуры; 8 - барометр

Рисунок 23. Схема контроля отбора проб с использованием расходомера и счетчика сухого газа

в) отбор проб сухого пылегазового потока с фильтром за пределами газохода и конденсорной системой (см. рисунок 22) включает:

- 1) конденсор и/или осушительную колонну, обеспечивающие остаточную влажность менее чем 10 г/м^3 при максимальном расходе;
- 2) герметичный или струйный насос, действующий как всасывающее устройство;
- 3) волюметр сухого газа, имеющий погрешность в пределах $\pm 2\%$ при ожидаемом расходе, если погрешность измерений соответствующих абсолютных давления и температуры составляет менее 1 %;
- 4) расходомер или измерительную диафрагму, используемые для регулировки расхода, откалиброванные по волюметру сухого газа или измерительной диафрагме.

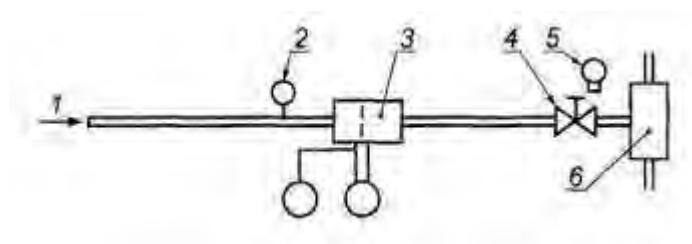


- 1 - поток сухой пылегазовой пробы; 2 - невозвратный клапан; 3 - запорно-выпускной клапан;
4 - насос; 5 - обходной регулировочный клапан; 6 - счетчик сухого газа; 7 - измеритель температуры; 8 - барометр; 9 - расходомер переменной площади температуры

Рисунок 24. Схема контроля отбора проб с использованием счетчика сухого газа и вторичного диафрагменного расходомера

с) отбор проб влажного газа с фильтром, расположенным за пределами газохода (см. рисунок 22), включает:

- 1) изолированную или подогреваемую гибкую трубку, используемую для предотвращения конденсации влаги выше по потоку;
- 2) герметичный или струйный насос, действующий как всасывающее устройство;
- 3) измерительную диафрагму, в которой не происходит конденсация, или эквивалентное устройство, служащее в качестве расходомера. Измерения температуры и давления (абсолютного и дифференциального) в измерительной диафрагме (расходомере) должны быть в пределах $\pm 1\%$, а измерительная диафрагма должна быть откалибрована с отклонением $\pm 2\%$ от ожидаемого расхода.



1 - поток влажной пылегазовой пробы; 2 - измеритель температуры; 3 - подогреваемая диафрагма; 4 - запорно-выпускной клапан; 5 - барометр; 6 - струйный насос

Рисунок 25. Схема контроля отбора проб влажного газа (обязательна при фильтровании за пределами газохода)

6.3 Материалы для извлечения твердых частиц

6.3.1 Очищенная вода, деионизированная и отфильтрованная.

6.3.2 Ацетон высокого качества с осадком менее 10 мг на литр.

6.3.3 Чистые сосуды соответствующего размера (например, 250 мл) для хранения и транспортировки промывного раствора.

6.3.4 Пробки для закупоривания всасывающего патрубка. Используемые пробки не должны быть источником загрязнения пробы.

6.4 Устройства для кондиционирования и взвешивания

6.4.1 Сосуды для взвешивания, используемые в процедуре выпаривания промывных растворов, массой, соответствующей используемым весам. Стекло и керамика признаны пригодными материалами для этих сосудов, полимерные материалы не рекомендуются.

6.4.2 Эксикаторы, находящиеся в помещении для взвешивания, с подходящим осушителем (силикагель, хлорид кальция и т.д.).

6.4.3 Сушильный шкаф классического лабораторного типа, с допускаемым отклонением от заданной температуры в пределах $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6.4.4 Весы с разрешением от 0,01 до 0,1 мг и диапазоном, соответствующим массе взвешиваемых частей. В зависимости от расположения помещения для взвешивания особое

внимание проявляют при предотвращении нестабильности показаний, связанной с вибрацией, тягой воздуха, изменениями температуры и влажности.

6.4.5 Термометр и влагомер, расположенные вблизи весов.

6.4.6 Барометр.

6.4.7 В зависимости от процедуры испарения колпак для экстракции и нагреваемая тарелка для испарения промывных растворов.

7 Процедуры отбора проб и взвешивания

7.1 Общие положения

Перед выполнением любых измерений необходимо ознакомить руководство (гл. инженер) и персонал предприятия с целью и процедурами отбора проб. Характер заводского процесса, например, стационарный или циклический, влияет на программу отбора проб. Если процесс может быть выполнен в стационарном состоянии, необходимо, чтобы оно поддерживалось во время отбора проб.

Даты, время начала, продолжительность наблюдения и периоды отбора проб, а также рабочий режим завода во время этих периодов должны быть согласованы с администрацией завода.

Должны быть проведены предварительные расчеты для определения соответствующего диаметра насадки и/или времени отбора проб. Для получения достаточно большой массы фильтра с пробой по сравнению с массой чистого фильтра может быть необходимо более длительное время отбора проб или отбор проб с использованием большей насадки и более высоких расходов пробы.

Учитывая цель измерений и характеристики пылегазового потока, пользователь (оператор) должен:

- а) выбрать устройство для фильтрования внутри или за пределами газохода. Если отходящий пылегазовый поток насыщен водой или содержит заметные количества SO_3 , рекомендуются устройства для фильтрования за пределами газохода;
- б) выбрать подходящую температуру для кондиционирования и осушки фильтра до и после отбора проб.

При использовании устройства для фильтрования за пределами газохода устанавливают температуру фильтра в соответствии с нормативными документами или по техническим соображениям;

- с) отбирать нулевую пробу после каждой серии измерений и, по крайней мере, после каждого дня отбора проб, следуя процедуре отбора проб, либо без включения всасывающего устройства, либо с продолжительностью отбора проб менее 1 мин.

Это позволяет оценить дисперсию результатов измерений, относящуюся ко всей процедуре, проводимой операторами при определении концентрации пыли, близкой к нулю, и обусловленную загрязнением фильтров и промывочных растворов во время обработки на месте, транспортировки, хранения, обработки в лаборатории и процедур взвешивания и т.д.

Во время отбора проб необходим одновременный контроль скорости в плоскости отбора проб для проверки возможных изменений расхода в газоходе.

В месте отбора проб определяют температуру, давление, содержание влаги и среднюю молекулярную массу смеси газов отходящего пылегазового потока для расчета условий изокINETического отбора проб и приведения данных по выбросам от реальных к нормальным условиям. Если во время периода испытания изменение этих параметров в пространстве или времени превышает $\pm 10\%$ по сравнению с изокINETическими условиями, то эти параметры следует контролировать в каждой точке отбора проб.

При пересчете концентрации твердых частиц на сухой газ следует определять содержание влаги в отходящем пылегазовом потоке. Если концентрация твердых частиц должна быть выражена по отношению к установленному (избыточному) содержанию кислорода или диоксида углерода, следует также измерять концентрацию кислорода или диоксида углерода.

7.2 Процедура взвешивания

7.2.1 Взвешиваемые части

а) В зависимости от внутреннего устройства системы фильтрации взвешиваемыми частями до и после отбора проб могут быть:

- 1) только фильтр;
- 2) фильтр и фильтродержатель;
- 3) фильтр, фильтродержатель и входная часть корпуса фильтра, включая насадку (в зависимости от конструкции системы).

В первом и втором случаях осадок пыли в области от кончика насадки до фильтра должен быть извлечен и взвешен.

В третьем случае осадок пыли выше по потоку от фильтра учитывают при взвешивании, но при этом необходимо использовать весы, позволяющие взвешивать большие массы этих частей с заданным уровнем точности. Внешние поверхности частей должны быть очищены перед взвешиванием с использованием проверенной лабораторной методики;

б) В зависимости от вида используемого устройства отбора проб взвешиваемыми частями могут быть фильтр (с фильтродержателем или без него) или фильтр, включая все части выше по потоку от него. Варианты включают:

- 1) фильтр и твердые частицы, собранные выше по потоку от фильтра;
- 2) фильтр, его корпус и твердые частицы, собранные выше по потоку от корпуса;
- 3) насадку, фильтр и его корпус, а также любые части, соединяющие корпус с насадкой.

Для последних двух случаев все соответствующие части должны быть обработаны до и после взвешивания в соответствии с процедурой, приведенной в 8.3, и взвешены вместе без демонтажа;

с) В зависимости от используемой системы фильтрации растворы, полученные при промывке компонентов, могут быть испарены и взвешены в том же сосуде или перелиты в меньший сосуд для взвешивания, следуя проверенной лабораторной методике.

7.2.2 Обработка взвешиваемых частей перед отбором проб

Взвешиваемые части должны быть высушены в сушильном шкафу в течение по крайней мере 1 ч при температуре 160 °С.

После осушки фильтры и/или сосуды для взвешивания помещают в эксикатор, находящийся в помещении для взвешивания по крайней мере на 8 ч для обеспечения одинакового кондиционирования фильтра на всем протяжении его использования (включая подготовку и окончательное взвешивание). Для частей большего размера и сосудов для взвешивания может быть необходимо кондиционирование в течение времени до 12 ч.

7.2.3 Взвешивание

Взвешивают фильтр на электронных весах с погрешностью в пределах по крайней мере $\pm 0,1$ мг.

Так как массы проб определяют путем расчета разностей между данными, часто полученными с интервалом в одну или две недели, необходимо соблюдать особую осторожность, чтобы избежать погрешностей взвешивания, связанных с дрейфом весов, недостаточно равновесной температурой взвешиваемых частей и изменениями условий окружающей среды. Поэтому перед выполнением любого взвешивания оператор должен проверять используемую им процедуру взвешивания.

Перед проведением каждой серии взвешиваний:

- а) калибруют весы по эталонам массы;
- б) проводят дополнительные проверки путем взвешивания контрольных частей, эквивалентных другим частям и подготовленных в тех же условиях, но хранящихся свободными от загрязнения;
- с) регистрируют климатические условия в помещении (для взвешивания).

При взвешивании частей большого объема (например, мензурок) изменения температуры и барометрического давления могут привести к кажущемуся изменению массы. Это может быть обнаружено путем использования контрольных частей известной массы. В таких условиях при взвешивании вводят поправки. Поправки при взвешивании определяют на основе изменения кажущейся массы трех эквивалентных контрольных частей каждого типа (фильтра с фильтродержателем, сосуда и т.д.).

При взвешивании необходимо обращать внимание на следующие помехи:

- электростатические заряды, которые необходимо разрядить или нейтрализовать;
- характеристики гигроскопичности и летучести фильтрующего материала и/или пыли, которые могут привести к увеличению или уменьшению массы. По этой причине взвешивание выполняют быстро, в течение 1 мин после удаления из эксикатора. Регистрируют два дополнительных результата взвешивания с интервалами в 5 с после первого взвешивания. Если наблюдается существенное увеличение или уменьшение показаний течением времени, обусловленное природой материала, могут быть необходимы специальные процедуры, такие как экстраполяция показаний к исходным условиям;

- небольшие различия в температуре взвешиваемой части и окружающей среды могут сбивать настройку весов.

7.2.4 Обработка взвешиваемых частей после отбора проб

Взвешенные части сушат в сушильном шкафу в течение по крайней мере 1 ч при температуре 160 °С .

После осушки температура частей должна прийти в равновесие с температурой окружающей среды.

Когда есть подозрение на присутствие летучих или реакционно-способных соединений, осушку выполняют при температуре отбора проб с использованием потока сухого азота.

7.2.5 Обработка промывных растворов после отбора проб

Все промывные растворы (вода и ацетон) от всех частей выше по потоку от фильтра отправляют в лабораторию для дальнейшей обработки. Необходимо следить за тем, чтобы не происходило их загрязнение.

Переливают количественно объемы растворов в высушенные и предварительно взвешенные сосуды. Во время испарения смесь растворителей не кипятят. Поскольку в процессе испарения объем раствора уменьшается, могут быть использованы сосуды меньшего объема.

Примечание - Были проверены два метода испарения: 1) испарение в сушильном шкафу при температуре 120 °С при атмосферном давлении. Для разбавления паров ацетона до безопасного уровня необходима эффективная система продувки чистым воздухом или азотом; 2) испарение в закрытой системе (эксикаторе). Устанавливают начальную температуру 90 °С, а давление понижают до 40 кПа (абсолютное). Периодически температуру и давление повышают. В течение последнего периода поддерживают температуру 140 °С и давление 20 кПа (абсолютное).

После испарения взвешиваемые сосуды помещают в сушильный шкаф на 1 ч при температуре 160 °С. Перемещают взвешиваемые сосуды в эксикатор. После наступления теплового равновесия в помещении для взвешивания взвешивают сосуды, включая осадок, оставшийся после испарения.

Из-за относительно большой массы и объема взвешиваемых сосудов по сравнению с исследуемым осадком на взвешивание могут влиять изменения барометрического давления. Поэтому в каждой серии взвешивают по крайней мере три пустых сосуда одинакового размера, чтобы любые изменения массы могли быть использованы для введения поправки.

Получают по крайней мере одно значение массы сосуда с использованием того же объема каждого чистого растворителя, что и при промывке.

7.3 Отбор проб

7.3.1 Подготовка

Устройства должны быть очищены щеткой и промыты, откалиброваны и проверены перед установкой в месте испытаний. Следят за тем, чтобы любая часть системы отбора проб, которая ранее использовалась для отбора проб пыли с высокой концентрацией, не использовалась повторно без предварительной разборки и тщательной очистки.

В зависимости от программы измерений фильтр и соответствующие взвешиваемые части должны быть подготовлены перед каждым отбором пробы. К ним относятся части, используемые для проведения холостых опытов и запасные части, необходимые для устранения нарушений нормальной работы процесса и устройств.

Все взвешиваемые части, включая всасывающий патрубок, другие части или устройства, которые будут вступать в контакт с пробой (и затем будут промыты), должны быть защищены от загрязнения во время транспортировки и хранения.

7.3.2 Предварительные измерения

Проверяют размеры газохода, в котором проводят отбор проб с использованием железного прута (можно использовать газонапорную трубку) и рулетки. Выбирают число и расположение точек отбора проб. На трубке Пито и трубке для отбора проб отмечают расстояние от точек отбора проб до входной точки порта доступа.

Измеряют температуру и скорость пылегазового потока в выбранных точках газохода, а также проверяют возможные отклонения газового потока относительно оси газохода.

Измеряют содержание влаги и молекулярную массу смеси газов отходящего потока.

Для непрерывного контроля скорости отходящего пылегазового потока во время периода отбора пробы в соответствующей фиксированной точке системы отбора проб устанавливают отдельную трубку Пито. Контроль температуры и/или концентрации CO_2/O_2 в газоходe (или контроль других необходимых параметров) может также обеспечить получение информации о стабильности работы стационарного источника выбросов.

Принимая во внимание предварительный расчет времени отбора проб и измеренные скорости, выбирают подходящую насадку.

7.3.3 Нулевая проба

Берут нулевую пробу после каждой серии измерений или по крайней мере один раз в день, следуя процедуре отбора проб, без запуска всасывающего устройства, удерживая насадку в газоходe под углом 180° к направлению потока в течение 15 мин. Это позволяет оценить дисперсию результатов измерений, относящуюся ко всей процедуре, проводимой операторами при определении концентрации пыли, близкой к нулю, и обусловленную загрязнением фильтров и промывочных растворов во время обработки на месте, транспортировки, хранения, обработки в лаборатории и взвешивания. Все значения для нулевых проб должны быть зарегистрированы отдельно.

Значение нулевой пробы представляют в миллиграммах на кубический метр и рассчитывают с использованием среднего времени отбора пробы в серии измерений.

7.3.4 Процедура отбора проб

Отбор проб выполняют в следующем порядке:

а) собирают устройство для отбора проб и проверяют на возможные утечки путем закупорки насадки и запуска всасывающего устройства. Расход при утечке (измеренный, например, путем изменения давления) после вакуумирования системы отбора проб при максимальном давлении, достигаемом во время отбора проб, должен составлять менее 2 % нормального расхода. Во время отбора проб допускается осуществлять непрерывный контроль утечек путем непрерывного измерения концентрации соответствующего компонента пылегазового потока (CO_2 , O_2 и т.д.) напрямую в газоходe и ниже по потоку от линии отбора проб. Любая

обнаруженная разность этих концентраций указывает на утечку в частях устройства для отбора проб, расположенных за пределами газохода. Эта утечка должна быть обнаружена и устранена;

b) предварительно нагревают соответствующие части системы отбора проб до выбранной температуры фильтрования, например температуры газохода или рекомендуемой температуры, равной $(160 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Помещают систему отбора проб в газоход, располагая вход насадки, если возможно по направлению потока, исключая контакт с любыми частями газохода.

Герметизируют отверстие порта доступа для сведения к минимуму просачивания воздуха или предотвращения воздействия ядовитых газов на операторов;

c) поворачивают зонд для отбора проб до тех пор, пока вход насадки не повернется навстречу потоку в пределах $\pm 10^\circ$, открывают запорно-выпускной клапан, запускают всасывающее устройство и регулируют расход для получения изокINETического отбора проб в пределах $(-5\% \dots +15\%)$.

d) время отбора проб в каждой выбранной точке должно быть одинаковым;

e) общее время отбора проб должно быть не менее 20 мин;

f) во время отбора проб каждые 5 мин проверяют и регулируют расход для поддержания изокINETических условий отбора проб в пределах $(-5\% \dots +15\%)$. Непрерывно контролируют или регистрируют каждые 5 мин динамическое давление, измеренное трубкой Пито или другой подходящей измерительной системой, установленной в фиксированной точке или закрепленной на устройстве для отбора проб.

Примечание - Отлаженная лабораторная методика необходима при использовании газомера сухого газа для регистрации каждые 5 мин температуры и давления в газомере и для окончательного расчета отобранного объема;

g) не прекращают отбор проб при перемещении системы отбора проб к следующей точке отбора проб и одновременно регулируют расход для получения изокINETических условий;

h) регистрируют время отбора проб и отобранный объем или расход в каждой точке отбора проб;

i) по завершении отбора проб во всех выбранных точках на линии отбора проб закрывают запорно-выпускной клапан и выключают всасывающее устройство, удаляют систему отбора проб из газохода и перемещают ее на следующую линию отбора проб.

Для измерения низких концентраций пыли рекомендуется использовать только один фильтр для проведения всего измерения (кумулятивный отбор проб).

Нагрузка фильтра и максимальная скорость потока не должны превышать значений, рекомендуемых изготовителем фильтра;

j) при завершении отбора проб во всех точках:

1) удаляют систему отбора проб после закрытия запорно-выпускного клапана и выключения всасывающего устройства;

2) проверяют устройство на утечки,

3) разбирают устройства для отбора проб и проводят визуальную проверку фильтра и фильтродержателя на признаки поломки или пятен из-за давления или содержания влаги, что может наблюдаться для устройств отбора проб, используемых при температуре ниже или слишком близко к точке росы. Если такие признаки обнаружены, испытание признается недействительным. Проверяют также распределение пыли на фильтре для обнаружения неоднородности;

k) измеряют и регистрируют барометрическое давление;

l) помещают взвешиваемые части в закрытый контейнер, свободный от электростатического электричества, для транспортировки их в лабораторию для взвешивания (см. раздел 7).

7.3.5 Извлечение осадка выше по потоку от фильтра

Промывают все невзвешиваемые части, которые находятся в контакте с отбираемым пылегазовым потоком, для извлечения осадка выше по потоку от фильтра.

Принимают меры, чтобы избежать загрязнения пробы, если процедуру промывки выполняют на месте. Промывку выполняют в соответствии со следующими процедурами:

a) осторожно промывают внутренние поверхности насадки, колена и передней части корпуса фильтра водой над сосудом для хранения. Не допускают проникание внешней пыли в сосуд. Промывают эти же поверхности ацетоном и собирают ацетон в тот же сосуд;

b) для промывки всасывающего патрубка (зонда для отбора проб) закупоривают один его конец и заполняют достаточным количеством воды для увлажнения и очистки внутренней поверхности (от 1/3 до 1/2 объема всасывающего патрубка) и затем закупоривают другой конец. Вращают патрубок вдоль его длинной оси и опрокидывают несколько раз. Сливают воду в сосуд для хранения и транспортировки. Повторяют процедуру промывки водой, за которой следует промывка ацетоном.

Не проводят механической очистки поверхностей для извлечения осадка выше по потоку от фильтра после отбора проб. Однако необходимо механически очищать и промывать устройства перед каждой серией измерений.

Холостой отбор проб должен включать чистую промывку предварительно очищенной системы отбора проб. Чистую промывку осуществляют в соответствии с вышеуказанными процедурами, а процедуры испарения и взвешивания проводят так же, как и при отборе обычной пробы.

7.4 Подтверждение пригодности результатов

7.4.1 Параметры, зависящие от стационарного источника

Если испытание проводилось в неподходящем месте или выполнялось при изменяющемся режиме работы предприятия, пригодность пробы может быть подвергнута сомнению, а результаты измерений признаны ненадежными. В таких случаях протокол испытаний должен четко отражать, что испытание проводилось не в соответствии с требованиями ГОСТ ИСО 9096-2006.

В протокол испытаний должно быть включено детальное описание характеристик потока в месте отбора проб и/или описание изменений расхода в газоходе во время отбора проб с любыми пояснениями.

7.4.2 Проверка утечек

Значительные погрешности могут быть обусловлены утечками в системе отбора проб, особенно в тех ее частях, которые находятся под вакуумом.

Поэтому до и после каждого испытания система отбора проб должна быть проверена на утечки путем закупорки насадки и запуска всасывающего устройства. Расход должен составлять не более 2 % от нормального расхода при максимальном вакууме, достигаемом во время отбора проб, в противном случае измерение является недействительным.

7.4.3 Изокинетический расход

Если реальный расход через насадку отклоняется от условий изокинетического расхода (-5% ... +15%) во время отбора проб, отбор проб следует провести заново.

7.4.4 Пыль на невзвешиваемых частях выше по потоку от фильтра

Масса пыли, осевшей на невзвешиваемых частях выше по потоку от фильтра, должна быть прибавлена к найденной массе осадка на фильтре и взвешиваемых частях.

Это требование может не выполняться, если:

фильтр расположен внутри газохода, между ним и насадкой нет изгибов, он применяется для ненасыщенных газов при температуре, значительно превышающей температуру точки росы;

проверка пригодности была проведена в условиях, подобных условиям контролируемого процесса, и было установлено, что масса осевшей пыли не превышает 10 % предельного усредненного за день значения, установленного для процесса.

7.4.5 Пригодность отобранной пробы

Серию измерений признают пригодной только в том случае, если количество пыли, собранной за время отбора проб, по крайней мере в пять раз превышает соответствующее значение для нулевой пробы.

Приложение 1

Альтернативный (быстрый) способ вычисления скорости расхода аспиратора для изокINETического отбора проб

Существует быстрый (альтернативный) способ определения скорости прокачки газа через аспиратор в точках отбора без трудоемких последовательных вычислений (см. Таблицу).

1. В 1-й таблице необходимо найти искомое динамическое давление (Па) в строке с нужным коэффициентом газонапорной трубки.
2. В графе «диаметр носика» найти нужный диаметр наконечника (мм) для отбора пробы пыли.
3. На пересечении «диаметра насадки» и «динамического давления» находим скорость прокачки газа через аспиратор $V_{20}(\text{л/мин})$ (при 20°C и давлении 101,3 Па).
4. Находим **коэффициент S**.

Вычисляем давление внутри газохода = $(P_{атм} + P_{стат})$.

$P_{атм}$ – атмосферное давление (кПа)

$P_{стат}$ - статическое давление газохода (кПа)

На пересечении «Температура в трубе» и «Давление в трубе» - находим коэффициент S.

5. Находим **коэффициент M**.

Для измеренной влажности газа в трубе (г/м^3 сухого газа) – находим по 2-й таблице коэффициент M.

6. Находим **коэффициент G**.

Вычисляем давление внутри ротаметра = $(P_{атм} - P_{ротам})$

$P_{атм}$ – атмосферное давление (кПа)

$P_{ротам}$ - разряжение перед ротаметром (кПа)

На пересечении «Температура в ротаметре» и «Давлением в ротаметре» - находим по 3-й таблице коэффициент G.

7. Вычисляем скорость прокачки газа через аспиратор $V(\text{л/мин})$ по формуле:

$$V(\text{л/мин}) = V_{20}(\text{л/мин}) \times S \times M \times G$$

- Способ работает для уходящих газов от топливосжигающих установ, а также для газоздушных смесей, плотность которых при (н.у.) не отклоняется от 1,29 кг/м³ более 10%.

Диаметр сечения носика	Площадь сечения носика	Динамическое Давление в газоходе																												К трубки = 0,50											
		5	12	21	32	46	63	83	104	129	156	186	218	253	290	330	373	418	466	516	624	743	872	1011	1161	1321	1491	1672	1863	2064	2276	2497	2730	2972	3225						
		Динамическое Давление в газоходе																												К трубки = 0,55											
		5	11	19	29	42	57	75	95	117	142	169	198	230	264	300	339	380	423	469	568	675	793	919	1055	1201	1356	1520	1693	1876	2069	2270	2481	2702	2932						
		Динамическое Давление в газоходе																												К трубки = 0,60											
4	10	17	27	39	53	69	87	108	130	155	182	211	242	275	311	348	388	430	520	619	727	843	968	1101	1243	1393	1552	1720	1896	2081	2275	2477	2688								
Динамическое Давление в газоходе																												К трубки = 1,00													
3	6	10	16	23	32	41	52	65	78	93	109	126	145	165	186	209	233	258	312	372	436	506	581	660	746	836	931	1032	1138	1249	1365	1486	1613								
мм	мм²	Скорость прокачки через АСПИРАТОР л/мин при 20 С																																							
4,0	12,6	1,6	2,4	3,2	4,0	4,9	5,7	6,5	7,3	8,1	8,9	9,7	10,5	11,3	12,1	12,9	13,8	14,6	15,4	16,2	17,8	19,4	21,0	22,7	24,3	25,9	27,5	29,1	30,7	32,4	34,0	35,6	37,2	38,8	40,5						
4,5	15,9	2,0	3,1	4,1	5,1	6,1	7,2	8,2	9,2	10,2	11,3	12,3	13,3	14,3	15,4	16,4	17,4	18,4	19,5	20,5	22,5	24,6	26,6	28,7	30,7	32,8	34,8	36,9	38,9	41,0	43,0	45,1	47,1	49,2	51,2						
5,0	19,6	2,5	3,8	5,1	6,3	7,6	8,9	10,1	11,4	12,6	13,9	15,2	16,4	17,7	19,0	20,2	21,5	22,8	24,0	25,3	27,8	30,3	32,9	35,4	37,9	40,5	43,0	45,5	48,0	50,6	53,1	55,6	58,2	60,7	63,2						
5,5	23,8	3,1	4,6	6,1	7,6	9,2	10,7	12,2	13,8	15,3	16,8	18,4	19,9	21,4	22,9	24,5	26,0	27,5	29,1	30,6	33,7	36,7	39,8	42,8	45,9	49,0	52,0	55,1	58,1	61,2	64,3	67,3	70,4	73,4	76,5						
6,0	28,3	3,6	5,5	7,3	9,1	10,9	12,7	14,6	16,4	18,2	20,0	21,8	23,7	25,5	27,3	29,1	31,0	32,8	34,6	36,4	40,1	43,7	47,3	51,0	54,6	58,3	61,9	65,5	69,2	72,8	76,5	80,1	83,8	87,4	91,0						
6,5	33,2	4,3	6,5	8,7	10,9	13,0	15,2	17,4	19,6	21,7	23,9	26,1	28,3	30,4	32,6	34,8	36,9	39,1	41,3	43,5	47,8	52,2	56,5	60,9	65,2	69,5	73,9	78,2	82,6	86,9	91,3	95,6	100	104	109						
7,0	38	5,0	7,6	10,1	12,6	15,1	17,6	20,2	22,7	25,2	27,7	30,2	32,8	35,3	37,8	40,3	42,8	45,4	47,9	50,4	55,4	60,5	65,5	70,6	75,6	80,7	85,7	90,7	95,8	101	106	111	116	121	126						
7,5	44	5,7	8,5	11,4	14,2	17,1	19,9	22,8	25,6	28,4	31,3	34,1	37,0	39,8	42,7	45,5	48,4	51,2	54,1	56,9	62,6	68,3	74,0	79,7	85,3	91	97	102	108	114	119	125	131	137	142						
8,0	50	6,5	9,7	12,9	16,2	19,4	22,7	25,9	29,1	32,4	35,6	38,8	42,1	45,3	48,6	51,8	55,0	58,3	61,5	64,7	71,2	77,7	84,2	90,6	97	104	110	117	123	129	136	142	149	155	162						
9,0	64	8,2	12,3	16,4	20,5	24,6	28,7	32,8	36,9	41,0	45,1	49,2	53,3	57,4	61,4	65,5	69,6	73,7	77,8	81,9	90,1	98,3	107	115	123	131	139	147	156	164	172	180	188	197	205						
10	79	10,1	15,2	20,2	25,3	30,3	35,4	40,5	45,5	50,6	55,6	60,7	65,7	70,8	75,9	80,9	86,0	91,0	96,1	101	111	121	131	142	152	162	172	182	192	202	212	223	233	243	253						
11	95	12,2	18,4	24,5	30,6	36,7	42,8	49,0	55,1	61,2	67,3	73,4	79,6	85,7	91,8	97,9	104	110	116	122	135	147	159	171	184	196	208	220	233	245	257	269	281	294	306						
12	113	14,6	21,8	29,1	36,4	43,7	51,0	58,3	65,5	72,8	80,1	87,4	94,7	102	109	117	124	131	138	146	160	175	189	204	218	233	248	262	277	291	306	320	335	350	364						
13	133	17,1	25,6	34,2	42,7	51,3	59,8	68,4	76,9	85,5	94,0	103	111	120	128	137	145	154	162	171	188	205	222	239	256	274	291	308	325	342	359	376	393	410	427						

S коэффициент

Температура в ТРУБЕ	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	450
Давление в ТРУБЕ																																	0,50
103 kPa	1,01	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77	0,77	0,75	0,74	0,72	0,71	0,70	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,62
101 kPa	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,92	0,90	0,89	0,88	0,87	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,78	0,77	0,76	0,74	0,73	0,71	0,70	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,61
99 kPa	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,92	0,91	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,72	0,71	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,61
97 kPa	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,71	0,70	0,69	0,68	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62	0,60
95 kPa	0,97	0,96	0,95	0,93	0,92	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,72	0,71	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62	0,60
93 kPa	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73	0,71	0,70	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,59
91 kPa	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73	0,72	0,71	0,69	0,68	0,67	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,58

Влажность % об.	2%	4%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	70%	80%	90%
Влажность г/м ³ сух	16	33	51	70	89	110	131	153	176	201	268	344	433	536	657	804	982	1205	1875	3214	7232
Плотность влажного газа (Н.У.)	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,282	1,271	1,26	1,249	1,221	1,193	1,165	1,137	1,11	1,082	1,054	1,026	0,971	0,915	0,859
М коэффициент	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,85	0,83	0,81	0,77	0,73	0,68	0,64	0,60	0,55	0,50	0,45	0,35	0,24	0,12

G коэффициент для РОТАМЕТРА

Давление в РОТАМЕТРЕ	Температура в РОТАМЕТРЕ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
103 kPa		0,97	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,06
101 kPa		0,98	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,06	1,07
99 kPa		0,99	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06	1,07	1,08
97 kPa		1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07	1,08	1,09
95 kPa		1,01	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10
93 kPa		1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11
91 kPa		1,03	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,12

$$V \text{ (л/мин)} = V_{20} \text{ (л/мин)} * S * M * G$$

Таблица вычисления скорости расхода аспиратора для изокINETического отбора проб пыли

Приложение 2

Нестационарность выбросов загрязняющих веществ

Под нестационарностью выбросов загрязняющих веществ понимают зависимость параметров выброса, а именно, концентрации и расхода газовой смеси, от времени. В этом случае инструментальное измерение параметров выбросов в какой-то определенный момент времени не отражает реальной картины выбросов загрязняющих веществ из данного источника, поскольку в другой момент времени концентрация и расход могут изменяться в несколько раз, в зависимости от природы конкретного нестационарного технологического процесса.

Нестационарность выбросов как правило связана с нестационарностью выделения загрязняющих веществ, основными причинами которой могут быть:

- нестационарность самого технологического процесса;
- нестабильностью работы газоочистного оборудования и нарушением герметичности технологического оборудования;
- изменчивостью показателей качества основного и резервного топлива и сырья;
- цикличностью и многостадийностью производственных процессов;
- изменением выбросов на какой-либо стадии процессов;
- неравномерность работы нескольких источников выделения, выбросы которых объединены в один источник..

Нестационарность выбросов может проявляться в течение нескольких часов, суток, месяцев, года, летнего и зимнего периодов. Согласно методических указаний [МУ], учет нестационарности следует проводить на источниках, фактические выбросы которых, определенные в разные промежутки времени, отличаются более чем в 2 раза. Учет нестационарности необходимо проводить по каждому загрязняющему веществу отдельно.

Примером нестационарных выбросов на предприятиях могут быть:

- выбросы от термокамер в мясоперерабатывающем производстве (варка, копчение, продувка термокамер);
- выбросы от птичников (содержание птицы, механическая уборка, дезинфекция, дегазация);
- выбросы при деревообрабатывающем производстве (в случаях когда на один источник выброса (часто таковыми являются газоочистные установки, циклоны) привязано несколько станков, которые могут работать одновременно);
- выбросы при работе котельных установок (возможно использование разного вида топлива на одних и тех же котлоагрегатах, разные режимы работы, которые часто связаны с сезонными условиями), и другие.

Для выявления наиболее полной картины параметров выбросов источника необходимо проводить аналитический контроль выбросов на разных стадиях с последующей оценкой нестационарности, построением графической зависимости выброса от времени, учета влияния факторов, возможно составление таблицы нестационарности выбросов.

Для построения графика (таблицы) нестационарности выделяются стадии технологического процесса, характеристики выбросов которых могут различаться в 2 и более раз. На каждой стадии проводят измерения концентраций загрязняющих веществ и расхода газовой смеси. На основании полученных данных и строится график зависимости выброса каждого конкретного загрязняющего вещества от времени.

Примером нестационарного процесса с четким изменением выброса на разных стадиях может служить получение сплава в индукционной печи ИАТ-0,4, рис.1 (по материалам инструментальных замеров).

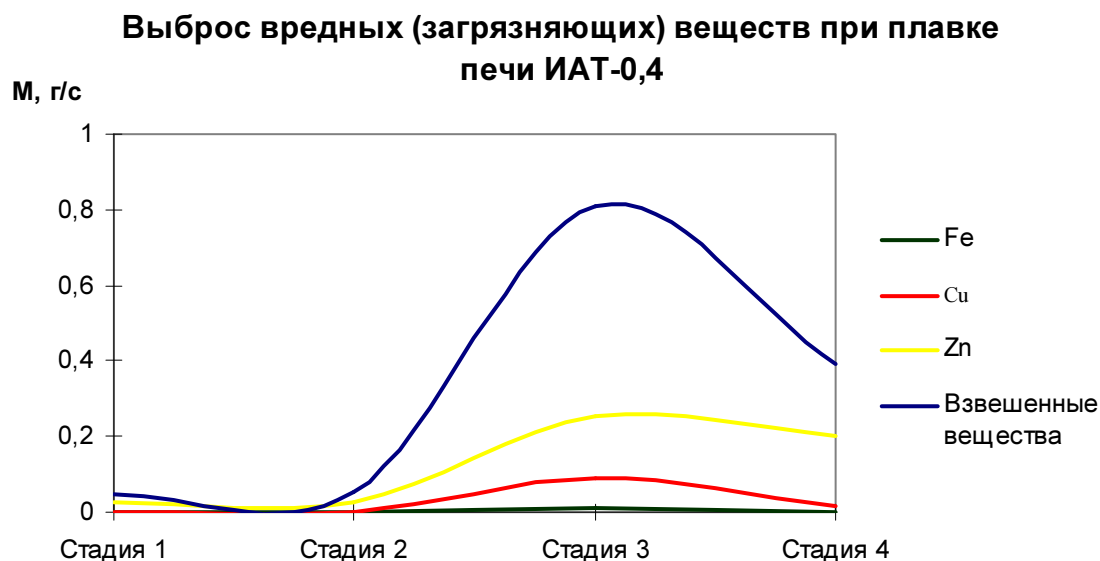


Рис. 1

Как видно по графику максимальный выброс металлов и суммы взвешенных веществ происходит на 3 и 4 стадиях. Таким образом выбросы вредны (загрязняющих) веществ необходимо контролировать на 3 стадии.

Построение графика нестационарности процесса и измерения выбросов на каждой стадии позволяет, во-первых, правильно и наиболее достоверно оценить выбросы данного технологического процесса, что особенно важно на стадии инвентаризации и разработки проектной документации. Во-вторых, позволяет определить стадию проведения последующего контроля выбросов на момент максимального выброса загрязняющих веществ.

В некоторых случаях построение графика нестационарности нецелесообразно, поскольку изменение выброса во времени имеет хаотичный характер и нет четкой стадийности процесса. В данном случае необходимо теоретически определить предполагаемое время максимального выброса. Для достоверной оценки выброса ЗВ необходим отбор не менее 3-х проб продолжительностью 20 минут.

Достаточно сложным бывает измерение выбросов на источниках, имеющих кратковременный характер работы. Так, например, работа заточного, сварочного оборудования часто имеет циклический характер, а время работы составляет 5 – 10 минут. В данном случае нестационарность выбросов осредняется на стадии пробоотбора в течение 20 минут.