Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
Росстандарт

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ»
ФГУП «ВНИИМС»

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

РАСХОД И КОЛИЧЕСТВО ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ОСРЕДНЯЮЩИХ НАПОРНЫХ ТРУБОК “ANNUBAR DIAMOND II+”, “ANNUBAR 285”, “ANNUBAR 485”, “ANNUBAR 585” ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

МИ 2667 - 2011

Москва, 2011

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНА ФГУП «ВНИИМС»

ИСПОЛНИТЕЛИ: Беляев Б.М., канд. техн. наук;
Дудыкин А.А.

РАЗРАБОТАНА фирма "EMERSON PROCESS MANAGEMENT"

ИСПОЛНИТЕЛИ: Корец А.Р.

УТВЕРЖДЕНА ФГУП «ВНИИМС» **05.09.2011 г.**

ЗАРЕГИСТРИРОВАНА ФГУП «ВНИИМС» **05.09.2011 г.**

ВЗАМЕН МИ 2667-2004

Настоящая рекомендация не может быть полностью или частично воспроизведена, тиражирована и (или) распространена без разрешения ФГУП «ВНИИМС».

СОДЕРЖАНИЕ

1 НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ 1
2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ 2
3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ 3
4 ОБОЗНАЧЕНИЯ 7
4.1 Основные условные обозначения 7
4.2 Индексы условных обозначений величин 9
4.3 Сокращения 10
4.4 Единицы величин 10
5 МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ 10
5.1 Принцип метода 10
5.2 Уравнения измерений расхода среды 11
5.3 Составляющие уравнения измерений расхода среды 13
5.4 Уравнения измерений количества среды 14
6 СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ТРЕБОВАНИЯ К ИХ МОНТАЖУ 16
6.1 Измерительные комплексы 16
6.2 Средства измерений перепада давлений и давления 16
6.3 Средства измерений температуры 18
6.4 Средства измерений плотности, состава и влажности среды 21
6.4.1 Определение плотности при рабочих условиях 21
6.4.2 Определение плотности при стандартных условиях 21
6.4.3 Определение компонентного состава 21
6.4.4 Определение влажности газа 21
6.4.5 Дополнительная рекомендация 22
6.5 Вычислительные устройства 22
6.6 Измерительный трубопровод 22
6.7 Трубка ANNUBAR 25
7 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА 28
8 УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ 29

8.1 Средства измерений 29
8.2 Измеряемая среда 29
8.3 Трубка ANNUBAR 31
8.4 Измерительный трубопровод 31
9 ПОДГОТОВКА К ИЗМЕРЕНИЯМ И ИХ ВЫПОЛНЕНИЕ 31
10 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ 33
10.1 Расчет расхода среды 33
10.1.1 Исходные данные и применяемые формулы 33
10.1.2 Порядок расчета расхода среды 34
10.1.3 Примеры расчета расхода среды 35
10.2 Расчет количества среды 35
10.3 Представление результатов измерений и расчетов 36
11 ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДА И КОЛИЧЕСТВА СРЕДЫ 36
11.1 Общие положения 36
11.2 Формулы для расчета неопределенности расхода среды 43
11.3 Составляющие неопределенности измерения расхода среды 45
11.4 Оценка неопределенности результатов определения количества среды 48
ПРИЛОЖЕНИЕ А ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБОК ANNUBAR (справочное) 49
А.1 Основные характеристики трубок "ANNUBAR DIAMOND II+" 49
А.2 Основные характеристики трубок "ANNUBAR 485" 51
А.3 Основные характеристики трубок "ANNUBAR 585" 52
А.4 Основные характеристики трубок "ANNUBAR 285" 53
ПРИЛОЖЕНИЕ Б ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСХОДА ТРУБКИ ANNUBAR 54
ПРИЛОЖЕНИЕ В ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРА ИТ И ШИРИНЫ ТРУБКИ ANNUBAR 56
В.1 Определение внутреннего диаметра ИТ при 20 °С и рабочей температурах 56

В.2 Определение ширины трубки ANNUBAR при 20 °С и рабочей температуре 57
ПРИЛОЖЕНИЕ Г ПРЯМОЛИНЕЙНЫЕ УЧАСТКИ ДЛЯ ТРУБОК ANNUBAR 59
ПРИЛОЖЕНИЕ Д ПРИМЕРЫ РАСЧЕТНЫХ ЛИСТОВ ТРУБОК ANNUBAR 65
Д.1 Пример расчетного листа трубки "ANNUBAR 485" программой MERLIN 65
Д.2 Пример расчетного листа трубки "ANNUBAR 485" программой Instrument Toolkit™ 66
Д.3 Пример расчетного листа комплексного расходомера 3051SFA (содержащего трубку "ANNUBAR 485") программой Toolkit™ 67
ПРИЛОЖЕНИЕ Е ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА 69
Е.1 Пример расчета расхода природного газа для трубки ANNUBAR 69
Е.2 Пример расчета расхода перегретого пара для трубки ANNUBAR 72

РЕКОМЕНДАЦИЯ **Т88.3**

РАСХОД И КОЛИЧЕСТВО ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ОСРЕДНЯЮЩИХ НАПОРНЫХ ТРУБОК "ANNUBAR DIAMOND II+", "ANNUBAR 285", "ANNUBAR 485", "ANNUBAR 585" ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ	**МИ 2667-2011**

1 НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящая рекомендация устанавливает методику измерений расхода и количества жидкостей, газов и пара (далее – среда) в полностью наполненных напорных трубопроводах круглого сечения с помощью измерительных комплексов (далее – ИК), в состав которых входят:

- осредняющая напорная трубка "ANNUBAR DIAMOND II+", "ANNUBAR 285", "ANNUBAR 485", "ANNUBAR 585", фирмы "Emerson Process Management/Rosemount Inc./Dieterich Standart", США (далее – трубка ANNUBAR);
- измерительный трубопровод;
- средств измерений перепада давлений, параметров среды и ее характеристик;
- средств обработки результатов измерений в реальном масштабе времени;
- соединительных линий и вспомогательных технических устройств.

Рекомендация определяет основные требования к средствам, методу и условиям выполнения измерений, а также содержит практические рекомендации по выполнению измерений и обработке результатов измерений расхода и количества среды, а также оценке неопределенности их измерений при разработке методик измерений с применением измерительных комплексов на базе трубок ANNUBAR.

Положения рекомендации распространяются на измерения расхода и количества среды измерительными комплексами как отечественного, так и зарубежного производства.

Рекомендация разработана с учетом требований ГОСТ Р 8.563.

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей рекомендации использованы ссылки на следующие документы:

- ГОСТ 8.417-2002 ГСИ. Единицы физических величин.

- ГОСТ 8.586.1-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1 Принцип метода измерений и общие требования.

- ГОСТ 8.586.5-2005 Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 5 Методика выполнения измерений.

- ГОСТ 2939-63 Газы. Условия для определения объема.

- ГОСТ 30319.0-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Общие положения.

- ГОСТ 30319.1-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки.

- ГОСТ 30319.2-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости.

- ГОСТ 30319.3-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств по уравнению состояния.

- ГОСТ Р 8.563-2009 ГСИ. Методики (методы) измерений.

- ГОСТ 8.566-99 Государственная система обеспечения единства измерений. Межгосударственная система данных о физических константах и свойствах веществ и материалов. Основные положения.

- ГОСТ 15528-86 Средства измерений расхода, объема или массы протекающих жидкости и газа. Термины и определения.

- ГСССД МР 147-2008. Расчет плотности, энтальпии, показателя адиабаты и коэффициента динамической вязкости воды и водяного пара при температурах 0...1000 С и давлениях 0,0005...100 МПа на основании таблиц стандартных справочных данных ГСССД 187-99 и ГСССД 6-89.

- РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

- РМГ 43-2001 ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».

Примечание – При пользовании настоящей рекомендацией целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования - на официальном сайте Федерального агентства по техническому

регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящей рекомендацией следует руководствоваться замененным (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей рекомендации применены термины по ГОСТ 15528-86 и РМГ 29-99, а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1 давление среды: Абсолютное давление среды, измеренное в месте расположения отверстия для отбора давления.

Примечание – Часть абсолютного давления среды, на которую оно превышает атмосферное давление, называют избыточным давлением среды.

3.2 отверстие для отбора давления: Круглое отверстие, просверленное в стенке измерительного трубопровода.

3.3 статическое давление среды (по ГОСТ 8.586.1): Абсолютное давление движущейся среды, которое может быть измерено посредством подключения средства измерений к отверстию для отбора давления.

3.4 перепад давления на трубке ANNUBAR: Разность между значениями статического давления среды в камерах усреднения трубки ANNUBAR.

3.5 камера усреднения: Полость внутри трубки ANNUBAR, предназначенная для усреднения давления, сообщающаяся через кольцевые щели (сплошные или прерывистые) с полостью трубопровода в передней и задней частях трубки ANNUBAR.

Примечание – Для трубки ANNUBAR DIAMOND II+ типоразмер 10 камеры усреднения расположены в двух отдельных трубках, установленных в трубопроводе последовательно.

3.6 сужающее устройство (трубка ANNUBAR): Техническое устройство, устанавливаемое в измерительном трубопроводе для создания перепада давления среды путем уменьшения площади сечения трубопровода (сужения потока).

3.7 среда (по ГОСТ 8.586.1): Движущаяся по измерительному трубопроводу среда (жидкость или газ, в том числе сухой насыщенный или перегретый пар), расход и(или) количество которой подлежит определению.

3.8 рабочие условия (по ГОСТ 8.586.1): Давление и температура среды, при которых выполняют измерение ее расхода и(или) количества.

3.9 объемный расход среды (по ГОСТ 8.586.1): Объем среды при рабочих условиях, протекающей через отверстие сужающего устройства в единицу времени.

3.10 массовый расход среды (по ГОСТ 8.586.1): Масса среды, протекающей через отверстие сужающего устройства в единицу времени.

3.11 объемный расход среды, приведенный к стандартным условиям (по ГОСТ 8.586.1): Объемный расход среды, приведенный к условиям по ГОСТ 2939 - абсолютное давление 0,101325 МПа, температура 20 °С (далее – стандартные условия).

3.12 число Рейнольдса для трубки ANNUBAR: Отношение силы инерции к силе вязкости потока, рассчитываемое по формуле

$$\mathrm{Re}_{rod} = \frac{d \cdot \upsilon \cdot \rho}{\mu}. \qquad (3.1)$$

3.13 коэффициент расширения: Поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение плотности газа (пара), обусловленное уменьшением его статического давления в плоскости установки трубки ANNUBAR в трубопроводе и после нее.

Примечание – Коэффициент расширения равен единице, если измеряемая среда - жидкость, и меньше единицы, если измеряемая среда – газ или пар.

3.14 измерительный трубопровод: Участок трубопровода, границы и геометрические характеристики которого, а также размещение на нем трубки ANNUBAR, местных сопротивлений, средств измерений регламентируется настоящей рекомендацией.

3.15 местное сопротивление (по ГОСТ 8.586.1): Трубопроводная арматура или другой элемент трубопровода, изменяющий кинематическую структуру потока (задвижка, кран, колено, диффузор и т. д.).

3.16 уступ (по ГОСТ 8.586.1): Смещение внутренних поверхностей двух секций измерительного трубопровода в месте их стыка, обусловленное смещением осей этих секций и (или) различием значений их внутреннего диаметра.

3.17 высота уступа (по ГОСТ 8.586.1): Максимальное смещение образующих внутренних поверхностей двух секций измерительного трубопровода, расположенных в одной осевой плоскости.

3.18 устройство подготовки потока (по ГОСТ 8.586.1): Техническое устройство, позволяющее устранить закрутку потока и уменьшить деформацию эпюры скоростей потока.

3.19 струевыпрямитель (по ГОСТ 8.586.1): Техническое устройство для выполнения одной из функций устройства подготовки потока - устранения закрутки потока.

3.20 неопределенность (по ГОСТ 8.586.1): Параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине.

3.21 стандартная неопределенность (по ГОСТ 8.586.1): Неопределенность результата измерения, выраженная как стандартное отклонение.

3.22 относительная стандартная неопределенность (по ГОСТ 8.586.1): Отношение стандартной неопределенности к значению оценки измеряемой величины, выраженное в процентах.

3.23 суммарная стандартная неопределенность (по ГОСТ 8.586.1): Стандартная неопределенность результата измерения, когда результат получают из значений ряда других величин, равная положительному квадратному корню суммы членов, причем члены являются дисперсиями или ковариациями этих других величин, взвешенных в соответствии с тем, как результат измерения изменяется в зависимости от изменения этих величин.

3.24 относительная суммарная стандартная неопределенность (по ГОСТ 8.586.1): Отношение суммарной стандартной неопределенности результата измерения к значению оценки измеряемой величины, выраженное в процентах.

3.25 расширенная неопределенность (по ГОСТ 8.586.1): Величина, определяющая интервал вокруг результата измерения, в пределах которого, можно ожидать, находится большая часть распределения значений, которые с достаточным основанием могут быть приписаны измеряемой величине.

3.26 относительная расширенная неопределенность (по ГОСТ 8.586.1): Отношение расширенной неопределенности кзначению оценки измеряемой величины, выраженное в процентах.

3.27 скорость среды: Средняя скорость среды при рабочих условиях в трубопроводе протекающей через единицу площади в единицу времени рассчитываемая по формуле

$$\upsilon = \frac{4 \cdot q_m}{\pi \cdot D^2 \cdot \rho} = \frac{4 \cdot q_o}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot q_C \cdot \rho_C}{\pi \cdot D^2 \cdot \rho}. \qquad (3.2)$$

3.28 степень перекрытия поперечного сечения измерительного трубопровода: Соотношение площадей трубки ANNUBAR и трубопровода в плоскости установки трубки ANNUBAR рассчитываемое по формуле

$$B = \frac{4 \cdot d}{\pi \cdot D}. \qquad (3.3)$$

3.29 эквивалентная шероховатость (по ГОСТ 8.586.1): Шероховатость, равная равномерной песочной шероховатости, по значению которой вычисляют такой же коэффициент гидравлического сопротивления, как и для фактической шероховатости.

П р и м е ч а н и е – Значение эквивалентной шероховатости может быть определено экспериментально, взято из справочных таблиц или вычислено по приближенной формуле

$$R_{Ш} = \pi \cdot Ra. \qquad (3.4)$$

3.30 показатель адиабаты (изоэнтропии) газа (по ГОСТ 8.586.1)**:** Отношение относительного изменения давления к соответствующему относительному изменению плотности газа в процессе изменения его состояния без теплообмена с окружающей средой.

4 ОБОЗНАЧЕНИЯ

4.1 Основные условные обозначения

Основные условные обозначения параметров, используемых в настоящей рекомендации, приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Условные обозначения параметров

Условное обозначение	Наименование параметра	Размерность M – масса L - длина T - время Θ - температура	Единица физической величины
D	Внутренний диаметр ИТ	L	м
D_{20}	Внутренний диаметр ИТ при 20 °С	L	м
d	Ширина трубки ANNUBAR в рабочих условиях	L	м
d_{20}	Ширина трубки ANNUBAR при 20 °С	L	м
D_t	Наружный диаметр преобразователя температуры, термометра или их защитной гильзы (при ее наличии)	L	м
K_T	Поправочный коэффициент на изменение диаметра измерительного трубопровода, вызванное отклонением температуры измеряемой среды от 20 °С	Безразмерная величина	-
K_O	Поправочный коэффициент на изменение ширины трубки ANNUBAR, вызванное отклонением температуры измеряемой среды от 20 °С	Безразмерная величина	-
B	Степень перекрытия поперечного сечения измерительного трубопровода трубкой ANNUBAR	Безразмерная величина	-

Таблица 4.1 (продолжение)

Условное обозначение	Наименование параметра	Размерность M – масса L - длина T - время Θ - температура	Единица физической величины
Re_{rod}	Число Рейнольдса для трубок ANNUBAR	Безразмерная величина	-
α	Коэффициент расхода трубки ANNUBAR	Безразмерная величина	-
ε	Коэффициент расширения трубки ANNUBAR	Безразмерная величина	-
K	Коэффициент сжимаемости среды	Безразмерная величина	-
μ	Динамическая вязкость среды	$ML^{-1}T^{-1}$	Па·с
κ	Показатель адиабаты среды	Безразмерная величина	-
P	Абсолютное давление среды	$L^{-1}MT^{-2}$	Па
$P_Б$	Барометрическое давление	$L^{-1}MT^{-2}$	Па
P_S	Давление насыщенных паров среды	$L^{-1}MT^{-2}$	Па
ΔP	Перепад давления на трубке ANNUBAR	$L^{-1}MT^{-2}$	Па
q_m	Массовый расход среды	MT^{-1}	кг/с
q_o	Объемный расход среды в рабочих условиях	L^3T^{-1}	$м^3/с$
q_c	Объемный расход среды, приведенный к стандартным условиям	L^3T^{-1}	$м^3/с$
m	Масса измеряемой среды	M	кг

Таблица 4.1 (продолжение)

Условное обозначение	Наименование параметра	Размерность M – масса L - длина T - время Θ - температура	Единица физической величины
V	Объем среды в рабочих условиях	L^3	$м^3$
V_C	Объем среды, приведенный к стандартным условиям	L^3	$м^3$
υ	Скорость среды в измерительном трубопроводе	LT^{-1}	м/с
t	Температура среды	Θ	°C
T	Термодинамическая температура	Θ	K
ρ	Плотность среды в рабочих условиях	ML^{-3}	$кг/м^3$
ρ_c	Плотность среды в стандартных условиях	ML^{-3}	$кг/м^3$
τ_1	Время начала измерений	T	с
τ_2	Время окончания измерений	T	с
$R_Ш$	Эквивалентная шероховатость внутренней поверхности измерительного трубопровода	L	м
Ra	Среднеарифметическое отклонение профиля шероховатости	L	м

Примечание – Условные обозначения, не указанные в таблице 4.1, указаны непосредственно в тексте.

4.2 Индексы условных обозначений величин

Индексы в условных обозначениях величин обозначают следующее:

в - верхний предел измерений;

н - нижний предел измерений;

с - стандартные условия;

MAX - максимальное значение величины;

MIN - минимальное значение величины.

4.3 Сокращения

В настоящей рекомендации применены следующие сокращения:

ИТ - измерительный трубопровод;

СУ - сужающее устройство;

МС - местное сопротивление;

УПП - устройство подготовки потока;

ПТ - измерительный преобразователь температуры или термометр;

СИ - средства измерений.

4.4 Единицы величин

В настоящей рекомендации применены единицы Международной системы единиц (международное сокращенное наименование - SI). Допускается применять наравне с единицами SI другие единицы по ГОСТ 8.417, а также десятичные кратные и дольные единицы.

5 МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

5.1 Принцип метода

5.1.1 Расход среды определяют методом переменного перепада давления.

Метод основан на создании в ИТ с помощью СУ (трубки ANNUBAR) местного сужения потока, часть потенциальной энергии которого переходит в кинетическую энергию, средняя скорость потока в месте его сужения повышается, а статическое давление становится меньше статического давления до СУ (трубки ANNUBAR). Разность давления (перепад давления) тем больше, чем больше расход среды, и, следовательно, она может служить мерой расхода.

Массовый расход среды при этом рассчитывают по формуле

$$q_m = \frac{\pi}{4} \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot D^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho}\,. \qquad (5.1)$$

5.1.2 Расчет массового расхода среды q_m выполняют в соответствии с формулой (5.1) при известных значениях ее составляющих, часть из которых получают путем непосредственных измерений, другую часть - расчетным путем.

5.1.3 Количество среды определяют путем интегрирования расхода среды по времени.

5.1.4 Уравнение, позволяющее выполнить пересчет результата измерений из объемных единиц в массовые единицы, имеет вид

$$q_m = q_C \cdot \rho_C = q_0 \cdot \rho . \qquad (5.2)$$

5.1.5 Расход среды измеряют в единицах массового расхода, объемного расхода в рабочих условиях и объемного расхода, приведенного к стандартным условиям (в качестве стандартных условий принимают Тс=293,15 К (20 °С) и Рс = 101,325 кПа (760 мм.рт.ст) по ГОСТ 2939.

5.2 Уравнения измерений расхода среды

5.2.1 Уравнения измерений массового расхода

Уравнение измерений массового расхода среды при непосредственном определении плотности:

$$q_m = \frac{\pi}{4} \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot D^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho} . \qquad (5.3)$$

Уравнение измерений массового расхода газов при косвенном определении плотности газа через плотность при стандартных условиях:

$$q_m = \frac{\pi}{4} \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot D^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho_C \cdot \frac{P \cdot T_C}{P_C \cdot T \cdot K}} . \qquad (5.4)$$

5.2.2 Уравнения измерений объемного расхода

Уравнение измерений объемного расхода среды при непосредственном определении плотности:

$$q_o = \frac{\pi}{4} \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot D^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}. \quad (5.5)$$

Уравнение измерений объемного расхода газов при косвенном определении плотности газа через плотность при стандартных условиях:

$$q_o = \frac{\pi}{4} \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot D^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \frac{P_C \cdot T \cdot K}{\rho_C \cdot P \cdot T_C}}. \quad (5.6)$$

5.2.3 Уравнения измерений объемного расхода среды, приведенного к стандартным условиям

Уравнение измерений объемного расхода газов, приведенного к стандартным условиям при непосредственном определении плотности при рабочих условиях ρ и известном коэффициенте сжимаемости K:

$$q_C = \frac{\pi}{4} \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot D^2 \cdot \frac{P \cdot T_C}{P_C \cdot T \cdot K} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}. \quad (5.7)$$

Уравнение измерений объемного расхода газов или жидкостей, приведенного к стандартным условиям при непосредственном определении плотности и известном ρ_C:

$$q_C = \frac{\pi}{4} \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot D^2 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho}}{\rho_C}. \quad (5.8)$$

Уравнение измерений объемного расхода газов, приведенного к стандартным условиям при косвенном определении плотности газов через плотность при стандартных условиях:

$$q_C = \frac{\pi}{4} \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot D^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \frac{P \cdot T_C}{\rho_C \cdot P_C \cdot T \cdot K}}. \quad (5.9)$$

5.3 Составляющие уравнения измерений расхода среды

5.3.1 Определение коэффициента расхода трубки ANNUBAR.

Значение коэффициента расхода трубки ANNUBAR определяют по Приложению Б.

5.3.2 Определение коэффициента расширения

Коэффициент расширения рассчитывают по уравнению

$$\varepsilon = 1 - ((1 - B)^2 \cdot 0{,}31424 - 0{,}09484) \cdot \frac{\Delta P}{P \cdot \kappa} \cdot \qquad (5.10)$$

5.3.3 Определение физических свойств среды

5.3.3.1 При измерении расхода и количества сред в зависимости от измеряемых сред и применяемых уравнений измерений необходимо знать значения следующих физических свойств среды: плотности, вязкости, показателя адиабаты (только для газов и пара), коэффициента сжимаемости (только для газов) и плотности при стандартных условия.

Физические свойства среды могут быть определены путем прямых измерений или косвенным методом на основе данных, аттестованных в качестве стандартных справочных данных категорий СТД или СД (см. ГОСТ 8.566).

5.3.3.2 Плотность, показатель адиабаты и вязкость среды определяют для условий (температуры и давления) в плоскости отверстий, предназначенных для измерения статического давления до трубки ANNUBAR.

Требования к методам определения и средствам определения плотности среды при рабочих условиях приведены в пункте 6.4.1.

При отсутствии справочных данных о значениях показателя адиабаты или методов его расчета вместо показателя адиабаты может быть использовано значение отношения удельной теплоемкости при постоянном давлении к удельной теплоемкости при постоянном объеме.

Вязкость среды может быть непосредственно измерена или рассчитана с помощью эмпирических или теоретических уравнений или определена графоаналитическим методом.

Требования к методам определения и СИ плотности газа при стандартных условиях приведены в пункте 6.4.2.

5.3.4 Определение давления среды и перепада давления на трубке ANNUBAR

5.3.4.1 Давление среды и перепад давления на трубке ANNUBAR измеряют методами и СИ, соответствующими требованиям пункта 6.2.

5.3.4.2 Требования к СИ давления среды и перепада давления на трубке ANNUBAR, а также к их монтажу приведены в пункте 6.2.

5.3.5 Определение температуры среды

5.3.5.1 Температуру среды измеряют методами и СИ, соответствующими требованиям пункта 6.3.

5.3.5.2 Требования к СИ температуры и их размещению на ИТ приведены в пункте 6.3.

5.3.6 Определение внутреннего диаметра ИТ

Внутренний диаметр ИТ определяют по разделу В.1 Приложения В.

5.4 Уравнения измерений количества среды

5.4.1 Количество среды определяют по уравнениям:

$$m = \int_{\tau 1}^{\tau 2} q_m \cdot d\tau \,, \tag{5.11}$$

$$V = \int_{\tau 1}^{\tau 2} q_o \cdot d\tau \,, \tag{5.12}$$

$$V_c = \int_{\tau 1}^{\tau 2} q_c \cdot d\tau \,. \tag{5.13}$$

Уравнения измерений (5.11) – (5.13) применяют при непрерывном процессе измерений расхода среды.

5.4.2 При применении средств обработки результатов измерений с дискретным вычислением допускается использовать приближенные уравнения измерений количества среды:

- при прямоугольной аппроксимации

$$m = \sum_{i=1}^{n} q_{mi} \cdot \Delta\tau_i \,, \tag{5.14}$$

$$V = \sum_{i=1}^{n} q_{oi} \cdot \Delta\tau_i \,, \tag{5.15}$$

$$V_C = \sum_{i=1}^{n} q_{ci} \cdot \Delta\tau_i \,, \tag{5.16}$$

- при трапециидальной аппроксимации

$$m = \sum_{i=1}^{n} \frac{q_{m(i)} + q_{m(i+1)}}{2} \cdot \Delta\tau_i \,, \tag{5.17}$$

$$V = \sum_{i=1}^{n} \frac{q_{o(i)} + q_{o(i+1)}}{2} \cdot \Delta\tau_i \,, \tag{5.18}$$

$$V_C = \sum_{i=1}^{n} \frac{q_{c(i)} + q_{c(i+1)}}{2} \cdot \Delta\tau_i \,, \tag{5.19}$$

где

$q_{m(i)}$, $q_{o(i)}$ и $q_{c(i)}$ - значения функций $q_m(\tau)$, $q_v(\tau)$ и $q_c(\tau)$ в начале интервала $\Delta\tau_i$, соответственно;

$q_{m(i+1)}$, $q_{o(i+1)}$ и $q_{c(i+1)}$ - значения функций $q_m(\tau)$, $q_v(\tau)$ и $q_c(\tau)$ в конце интервала $\Delta\tau_i$, соответственно;

n - число интервалов дискретизации в течение времени τ_0, где время измерений рассчитывается по формуле

$$\tau_0 = \tau_2 - \tau_1 = \sum_{i=1}^{n} \Delta\tau_i \,, \tag{5.20}$$

где $\Delta\tau_i$ – интервал цикла вычислений расхода.

6 СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ТРЕБОВАНИЯ К ИХ МОНТАЖУ

6.1 Измерительные комплексы

6.1.1 Для определения расхода и количества среды выполняют измерения переменных параметров потока и среды, входящих в уравнение измерений расхода.

6.1.2 СИ и вспомогательные технические устройства, необходимые для измерений расхода и количества среды, выбирают исходя из условий их эксплуатации и технико-экономической целесообразности.

6.1.3 Для измерений параметров потока и среды применяют измерительные комплексы автоматического действия с вычислительными устройствами, которые принимают сигналы от измерительных преобразователей параметров потока и среды, автоматически обрабатывают их и выдают необходимую информацию о результатах измерений и вычислений в реальном масштабе времени.

6.1.4 В измерительных комплексах применяют автоматические средства измерений любого принципа действия, но с защитой памяти и программ от постороннего вмешательства.

6.1.5 Для определения значений условно-постоянных величин допускается применение показывающих приборов. При вводе условно-постоянных значений параметров время ввода и их значения регистрируют.

6.2 Средства измерений перепада давлений и давления

6.2.1 Измерения перепада давления на трубке ANNUBAR.

6.2.1.1 Перепад давления на трубке ANNUBAR определяют в соответствии с пунктом 5.1.1. Перепад давления между осредняющими камерами трубки ANNUBAR определяют с помощью средств измерений перепада давления (дифференциальных манометров - дифманометров) путем подсоединения их через соединительные трубки к осредняющим камерам трубки ANNUBAR.

6.2.1.2 При монтаже дифманометров выполнение соединений проводится в соответствии инструкциями по эксплуатации и монтажу трубок ANNUBAR и средств измерений перепада давления.

6.2.2 Определение абсолютного давления

6.2.2.1 Абсолютное давление среды измеряют с помощью средств измерений абсолютного или избыточного давления (манометров). При

измерениях избыточного давления, абсолютное давление определяют как сумму избыточного и барометрического давлений

$$P = P_{И} + P_{Б}. \tag{6.1}$$

6.2.2.2 Абсолютное или избыточное давление измеряют в ИТ перед трубкой ANNUBAR. Отбор статического давления выполняют на расстоянии 0,5...1,0D перед трубкой ANNUBAR с помощью либо отдельных отверстий в стенке ИТ или фланцах, либо нескольких взаимно соединенных отверстий, либо с помощью кольцевой щели (сплошной или прерывистой), выполненной в камере усреднения.

6.2.2.3 Если ИТ изготовлен из прямошовных труб и для отбора статического давления применяют одно отдельное отверстие в ИТ, то шов трубы на участке длиной не менее 0,5D, расположенном непосредственно перед отверстием для отбора давления, не должен располагаться в секторе поперечного сечения ИТ с углом 30° от оси данного отверстия. Если для отбора статического давления используют кольцевую щель или несколько взаимно соединенных отверстий, то шов может быть расположен в любом секторе.

6.2.2.4 Допускаются для трубки ANNUBAR, оснащенной механизмом выемки / установки под давлением (FloTap), абсолютное или избыточное давление измерять манометром, смонтированным через отдельный отбор давления, расположенный на кожухе механизма выемки между отсекающим краном и уплотнительным механизмом.

6.2.2.5 Допускается присоединение манометра к плюсовой соединительной трубке дифманометра. Значение давления среды в ИТ в этом случае рассчитывается по формуле

$$P = P_{+} - 0{,}4 \cdot \Delta P, \tag{6.2}$$

где P_{+} - давление в плюсовой соединительной трубке дифманометра.

6.2.2.6 Допускается при применении трубок ANNUBAR Diamond II+ и “ANNUBAR 585” при измерениях давления в двунаправленном потоке присоединение манометра к минусовой (кормовой по потоку) соединительной трубке дифманометра. Значение давления среды в ИТ в этом случае рассчитывается по формуле

$$P = P_{-} + 0{,}6 \cdot \Delta P, \qquad (6.3)$$

где P_{-} - давление в минусовой соединительной трубке дифманометра.

6.2.2.7 Измерения абсолютного или избыточного давления выполняют с учетом разности высот установки трубки ANNUBAR и манометра.

6.2.2.8 При измерениях избыточного давления барометрическое давление измеряют в месте расположения манометра избыточного давления, если последний размещен в замкнутом пространстве при наличии поддува/разряжения, создаваемого системами кондиционирования.

6.2.2.9 Атмосферное давление может быть принято за условно-постоянное значение.

6.2.2.10 Допускаются измерения перепада давления, абсолютного или избыточного давления многопараметрическими преобразователями, которые позволяют одновременно проводить измерения перепада давления и абсолютного/избыточного давления.

6.2.2.11 При монтаже трубки ANNUBAR в колене абсолютное или избыточное давление среды в ИТ измеряют в соответствии с пунктом 6.2.2.5.

6.3 Средства измерений температуры

6.3.1 Температуру измеряемой среды измеряют с помощью средств измерений температуры (термометров).

6.3.2 Термодинамическую температуру измеряемой среды определяют по формуле

$$T = t + 273{,}15. \qquad (6.4)$$

6.3.3 Измерения температуры среды проводят на прямолинейном участке в проточной части ИТ перед или после трубки ANNUBAR. Во всех случаях необходимо стремиться к тому, чтобы ПТ или его защитная гильза (при ее наличии) как можно меньше загромождали проходное сечение ИТ.

6.3.4 При измерениях температуры среды перед трубкой ANNUBAR следует руководствоваться следующими положениями:

а) если диаметр D_t удовлетворяет условию $0{,}03D < D_t < 0{,}13D$, то:

- установка ПТ или его защитной гильзы (при ее наличии) на расстоянии не менее 20D от трубки ANNUBAR не влияет на показания измерительного комплекса;

- при установке ПТ или его защитной гильзы (при ее наличии) от трубки ANNUBAR на расстоянии $10D < l_t < 20D$ к относительной расширенной неопределенности коэффициента расхода трубки ANNUBAR следует арифметически добавить величину U'_{lt}, равную 1 - l_t /(20D);

- ПТ или его защитную гильзу (при ее наличии) не допускается устанавливать на расстоянии менее 10D от трубки ANNUBAR.

б) если диаметр D_t удовлетворяет условию $D_t < 0{,}03$D, то:

- установка ПТ или его защитной гильзы (при ее наличии) на расстоянии не менее 5D от трубки ANNUBAR не влияет на показания измерительного комплекса;

- при установке ПТ или его защитной гильзы (при ее наличии) от трубки ANNUBAR на расстоянии $3D < l_t < 5D$, к относительной расширенной неопределенности коэффициента расхода трубки ANNUBAR следует арифметически добавить величину U'_{lt}, равную 0,5%;

- ПТ или его защитную гильзу (при ее наличии) не допускается устанавливать на расстоянии менее 3D от трубки ANNUBAR;

в) расстояние между трубкой ANNUBAR и ПТ не должно превышать 30D;

г) между трубкой ANNUBAR и ПТ или его защитной гильзы (при ее наличии) должны отсутствовать местные сопротивления.

6.3.5 При измерении температуры потока после трубки ANNUBAR следует выполнять требования:

а) ПТ или его защитную гильзу (при ее наличии) не допускается устанавливать от трубки ANNUBAR на расстоянии более 15D;

б) если диаметр $D_t < 0{,}03D$, глубина погружения чувствительного преобразователя термометра в ИТ составляет (0,3 – 0,4)D, и между плоскостью, проходящей через центральную ось трубопровода и трубку ANNUBAR, и плоскостью, проходящей по через центральную ось трубопровода и ПТ или его защитную гильзу (при ее наличии), образуется угол не менее 30°, то ПТ или его защитную гильзу (при ее наличии) устанавливают на расстоянии l_t не менее 0,6D от трубки ANNUBAR, при этом, при $l_t < 5D$, к относительной расширенной

неопределенности коэффициента расхода трубки ANNUBAR следует арифметически добавить величину $U_{lt}^{'}$, равную 0,5%;

в) если диаметр $D_t < 0{,}26D$, и условия пункта 6.3.5 б) не выполняются, то ПТ или его защитную гильзу (при ее наличии) устанавливают на расстоянии от трубки ANNUBAR не менее $5D$;

г) если диаметр $D_t > 0{,}26D$, то ПТ или его защитную гильзу (при ее наличии) устанавливают в расширитель в соответствии с пунктом 6.3.7 ГОСТ 8.586.5;

д) между трубкой ANNUBAR и ПТ или его защитной гильзой (при ее наличии) должны отсутствовать местные сопротивления (исключение составляют варианты, представленные на рисунках 11в, г ГОСТ 8.586.5);

6.3.6 Чувствительный элемент термометра устанавливают непосредственно в ИТ или в гильзу (карман).

При установке ПТ в гильзу (карман) обеспечивают надежный тепловой контакт, заполняя гильзу, например, жидким маслом, либо используют подпружиненные сенсоры. ПТ погружают в гильзу на полную ее глубину (с монтажным зазором). Рекомендуется, чтобы зазор между боковыми стенками гильзы и ПТ не превышал 0,5 мм

Часть ПТ, выступающая над ИТ, должна иметь термоизоляцию, если температура потока отличается от температуры окружающей среды более чем на 40 °С.

Рекомендуется ПТ или его защитную гильзу (при ее наличии) термоизолировать от стенки ИТ.

6.3.7 Чувствительный преобразователь термометра погружают в ИТ на глубину $(0{,}3 - 0{,}7)D$. В случае, если измеряемая среда пар или среда, температура которой более 120 °С, рекомендуется чувствительный преобразователь термометра погружать в ИТ на глубину $(0{,}5\text{-}0{,}7)D$.

6.3.8 Чувствительный преобразователь термометра устанавливают радиально на теплоизолированном участке ИТ (рисунок 11а ГОСТ 8.586.5).

Допускается наклонная установка чувствительного преобразователя термометра (рисунки 11б, 11г ГОСТ 8.586.5) или его установка за трубкой ANNUBAR в колене (рисунки 11в ГОСТ 8.586.5) при условии выполнения требований пунктов 6.3.5 и 6.3.7.

6.3.9 При прохождении участка трубопровода между местом размещения ПТ и трубкой ANNUBAR среда охлаждается или нагревается. В результате температура среды в месте расположения

ПТ может отличаться от температуры в месте расположения трубки ANNUBAR. Для уменьшения неопределенности результата измерения температуры ИТ теплоизолируют.

Если температуру измеряют до трубки ANNUBAR, то теплоизолируют участок ИТ между сечениями трубопровода, расположенными на расстоянии 5*D* до места размещения ПТ и на расстоянии 5*D* после трубки ANNUBAR.

Если температуру измеряют после трубки ANNUBAR, то теплоизолируют участок ИТ между сечениями трубопровода, расположенными на расстоянии 5*D* до трубки ANNUBAR и на расстоянии 5*D* после ПТ.

Допускаемое отклонение температуры среды между сечениями ИТ в которых установлены ПТ и трубка ANNUBAR в соответствии с требованиями пункта 7.1.7 ГОСТ 8.586.1 принимают равным ±0,3 °С для газов и ±1,5 °С для жидкостей.

6.3.10 Допускается измерять температуру среды термометром, встраиваемым в трубку ANNUBAR. На встроенные в трубку ANNUBAR термометры, пункты 6.3.4 - 6.3.8 не распространяются.

6.3.11 При монтаже трубки ANNUBAR в колене, температуру среды в ИТ измеряют по пункту 6.3.10 термометром, встроенным в трубку ANNUBAR или термометром, установленном после трубки ANNUBAR в соответствии с пунктами 6.3.5 - 6.3.9.

6.4 Средства измерений плотности, состава и влажности среды

6.4.1 Определение плотности при рабочих условиях

6.4.1.1 Определение плотности при рабочих условиях проводят по пункту 6.4.1 ГОСТ 8.586.5.

6.4.1.2 При установке плотномера во внутренней полости ИТ плотномер устанавливают от трубки ANNUBAR на расстоянии не менее расстояния, указанного в пункте 6.4.1.3 ГОСТ 8.586.5.

6.4.2 Определение плотности при стандартных условиях

Определение плотности при стандартных условиях проводят по пункту 6.4.2 ГОСТ 8.586.5.

6.4.3 Определение компонентного состава

Определение компонентного состава проводят по пункту 6.4.3 ГОСТ 8.586.5.

6.4.4 Определение влажности газа

Определение влажности газа проводят по пункту 6.4.4 ГОСТ 8.586.5.

6.4.5 Дополнительная рекомендация

Для определения плотности при стандартных условиях, состава и влажности газа пробы рекомендуется отбирать из одной точки.

6.5 Вычислительные устройства

6.5.1 Вычислительное устройство должно автоматически вычислять значения параметров потока и среды, а также значение расхода среды в соответствии с пунктом 5.2 и количество среды в соответствии с пунктом 5.3.

При расчете расхода и количества среды допускается применение упрощенных формул. Дополнительный вклад в неопределенность результатов вычисления от введенных упрощений определяют относительно результатов вычислений, выполненных в соответствии с требованиями подразделов 10.1 и 10.2.

6.5.2 Вычислительное устройство должно контролировать соблюдение методических ограничений на применение трубки ANNUBAR и технологических или метрологических ограничений на значения измеряемых величин.

6.5.3 Вычислительное устройство должно сохранять в архивах результаты измерений и вычислений, нештатные ситуации.

6.5.4 Вычислительное устройство при возможности изменений данных, влияющих на результаты измерений и вычислений оператором в процессе измерений, должно фиксировать изменения в архиве.

6.5.5 Вычислительное устройство должно представлять результаты измерений и вычислений, а также данные о конфигурировании вычислительного устройства на внутреннее и(или) внешние устройства отображения информации.

6.5.6 В вычислительном устройстве должна быть предусмотрена защита хранящейся в нем информации от возможности ее искажения.

6.6 Измерительный трубопровод

6.6.1 Требования к измерительному трубопроводу

6.6.1.1 ИТ имеет круглое сечение по всей длине требуемого прямолинейного участка до и после трубки ANNUBAR.

На участках 2*D* до и после трубки ANNUBAR поперечные сечения ИТ считают круглыми, если любой диаметр ИТ в любой плоскости отличается не более чем на 1% до трубки ANNUBAR и 3% после от

значения внутреннего диаметра D, определенного согласно пункту 6.6.1.3.

При отклонении ΔD любого измерения диаметра ИТ до трубки ANNUBAR D_{ij} в любой плоскости от среднего значения измеренного диаметра D, определенного по пункту 6.6.1.3, более 0,3% к относительной расширенной неопределенности коэффициента расхода следует арифметически добавить величину $U'_{\alpha D}$ равную:

0,25 % - при $0,3\% < \Delta D \leq 0,6\%$,
0,5 % - при $0,6\% < \Delta D \leq 1\%$.

ИТ может быть составным (состоять из секций соединенных сваркой или фланцами). При этом, расстояние между трубкой ANNUBAR и ближайшим стыком должно быть не менее $2D$.

За пределами участка $2D$ до и после трубки ANNUBAR поперечное сечение считают круглым по результатам визуального наблюдения.

6.6.1.2 Отклонение внутреннего диаметра ИТ при 20 °С от внутреннего диаметра ИТ, приведенного в заводском расчетном листе (Pipe I.D), в соответствии с которым трубка ANNUBAR изготавливалась, не должно превышать 3% для всех трубок ANNUBAR, кроме "ANNUBAR 485" со стандартным кодом диапазонов размеров ИТ, для которых допустимые диапазоны ИТ приводятся в технической документации.

6.6.1.3 Внутренний диаметр ИТ рассчитывают как среднее арифметическое значение результатов измерений диаметра ИТ в сечении, проходящем через трубку ANNUBAR. Дополнительно, проводят измерение внутреннего диаметра ИТ в сечениях на расстоянии D и $2D$ перед трубкой ANNUBAR. Результаты измерений внутреннего диаметра приводят к температуре 20 °С по формуле (В.1).

Внутренний диаметр ИТ в каждом из сечений измеряют не менее чем по N_D диаметральным направлениям, расположенным под одинаковым углом друг к другу (отклонение между диаметральными направлениями при измерениях внутреннего диаметра не более 5°).

Минимальное количество диаметральных направлений, в которых проводят измерения внутреннего диаметра ИТ, в зависимости от его диаметра приведено в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Минимальное количество диаметральных направлений

Диаметр ИТ (D)	Минимальное количество диаметральных направлений (N_D)
до 0,3 м	4
от 0,3 м до 1 м	6
свыше 1 м	8

Внутренний диаметр в каждом диаметральном направлении определяют:

а) прямыми измерениями внутреннего диаметра ИТ (например, штангенциркулем);

б) рассчитывают по формуле

$$D_{ij} = D_{ij}^{внеш} - \left(h_{ij}^{1} + h_{ij}^{2}\right), \tag{6.5}$$

где

D_{ij} – внутренний диаметр ИТ в i –м сечении j – го диаметрального направления;

$D_{ij}^{внеш}$ – внешний диаметр ИТ в i –м сечении j – го диаметрального направления;

h_{ij}^{1}, h_{ij}^{2} – толщина стенок ИТ в i –м сечении j – го диаметрального направления.

Допускается внутренний диаметр ИТ определять в соответствии методиками, приведенными в других нормативных документах, утвержденных в установленном порядке.

6.6.1.4 Допускается использовать ИТ со сварным швом, параллельным оси ИТ, если высота шва не превышает 0,005D. При этом трубку ANNUBAR располагают так, чтобы плоскость, проходящая через шов и центральную ось ИТ в месте установки трубки ANNUBAR, была под углом не менее 30° к плоскости, проходящей через центральную ось ИТ и трубку ANNUBAR.

6.6.1.5 Допускается использование ИТ с поперечным сварным швом высотой h, если он расположен на расстоянии не менее 92h от

трубки ANNUBAR. При этом наличие поперечного шва на расстоянии менее 2*D* до и после трубки ANNUBAR не допускается.

6.6.1.6 Допускается использование ИТ со спиральным сварным швом. При этом должна быть обеспечена гладкая внутренняя поверхность ИТ на длине 10*D* до трубки ANNUBAR (или на всем участке между трубкой ANNUBAR и ближайшим перед ней МС, если длина этого участка не более 10*D*) и не менее 4*D* после трубки ANNUBAR, путем ее механической обработки (внутренний валик должен быть сточен).

6.6.1.7 Внутренняя поверхность ИТ чистая, не имеет коррозии, на ней отсутствуют осадки в виде конденсата, песка, пыли, металлической окалины и других загрязнений на длине не менее 10*D* до и 4*D* после трубки ANNUBAR.

6.6.1.8 На ИТ могут быть предусмотрены дренажные и/или продувочные отверстия для удаления твердых осадков и конденсата. В процессе измерений утечки измеряемой среды через эти отверстия не допускаются. Диаметры дренажных и продувочных отверстий: не менее 0,08*D*, а расстояние, измеренное по прямой линии от центра отверстия для отбора давления до центра ближайшего к нему дренажные и/или продувочные отверстия: не менее 0,5*D*. Угол между радиальными плоскостями ИТ, проходящими через оси дренажных отверстий и/или отверстий для продувки и через ось отверстия для отбора давления: не менее 30 градусов.

6.6.1.9 Эквивалентная шероховатость ИТ $R_Ш$: не более 0,0025*D* на участке 2*D* до трубки ANNUBAR и участке 2*D* до после трубки ANNUBAR. Значение эквивалентной шероховатости $R_Ш$ определяют по таблице Д.1 Приложения Д ГОСТ 8.586.1 или экспериментально по пункту 7.1.5 ГОСТ 8.586.1.

6.7 Трубка ANNUBAR

6.7.1 Трубка ANNUBAR должна соответствовать требованиям технической документации фирмы-изготовителя.

6.7.2 Геометрические размеры трубки ANNUBAR соответствуют требованиям, изложенным в документации на конкретный экземпляр трубки ANNUBAR.

6.7.3 Ширина трубки ANNUBAR при 20 °С d_{20} должна соответствовать номинальной ширине трубки ANNUBAR (с учетом допусков, указанных в заводской документации на конкретный экземпляр трубки ANNUBAR).

Таблица 6.2 – Номинальная трубок ANNUBAR

Типоразмер трубки ANNUBAR	Номинальная ширина трубки ANNUBAR, м (дюйм)
"ANNUBAR Diamond II+"	
10 (входная круглая трубка)	0,0047498 (0,187)
10 (выходная квадратная трубка)	0,0034290 (0,135)
15/16	0,0092202 (0,363)
25/26	0,0217678 (0,857)
35/36	0,0313690 (1,235)
45/46	0,0498602 (1,963)
"ANNUBAR 485" и "ANNUBAR 285"	
1	0,014986 (0,590)
2	0,026924 (1,060)
3	0,049149 (1,935)
"ANNUBAR 585"	
11	0,020320 (0,800)
22	0,030480 (1,200)
44	0,057912 (2,280)

При определении ширины трубки ANNUBAR при 20 °С d_{20} по формуле (В.4) Приложения В ширину трубки ANNUBAR $d_{И}$ рассчитывают как среднее арифметическое значение трех результатов измерений ее ширины в фронтальной плоскости. Одно значение измеряется в центре измерительной части сенсора (в центре зоны щелей или отверстий), два других значения ширины измеряются в зоне середины крайних измерительных отверстий для "ANNUBAR Diamond II+", "ANNUBAR 285", "ANNUBAR 585" и в зонах верхней границы верхней щели и нижней границы нижней щели для "ANNUBAR 485".

6.7.4 Монтаж трубки ANNUBAR на ИТ выполняют в соответствии с требованиями технической документации фирмы-изготовителя.

6.7.5 При монтаже трубки ANNUBAR на ИТ наименьшие длины прямолинейных участков до и после трубки ANNUBAR выбираются в соответствии со значениями, приведенными в Приложении Г.

Участки ИТ, расположенные непосредственно до и после трубки ANNUBAR, считают прямолинейными, если отклонение линии, образуемой наружной поверхностью трубопровода и любым

продольным сечением, от прямой линии на любом отрезке участка ИТ не превышает 0,4 % длины отрезка.

6.7.6 Допускается применение трубок "ANNUBAR 485" на ИТ с длинами прямолинейных участков L меньше приведенных в таблице Г.1 Приложения Г, если выполняется условие

$$0{,}5 \cdot L_{ИТ} < L \le L_{ИТ}, \qquad (6.6)$$

где $L_{ИТ}$ - наименьшая длина прямолинейного участка, указанная в таблице Г.1 Приложения Г.

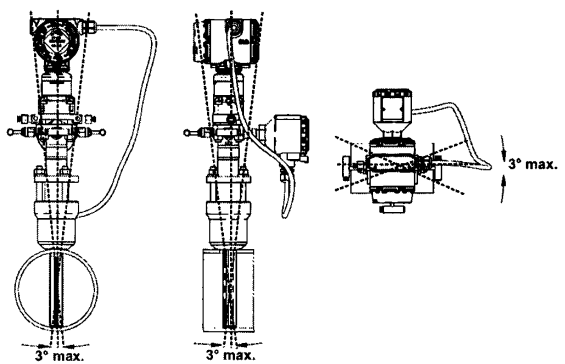
При длине прямолинейного участка L, соответствующего условию (6.6), к относительной расширенной неопределенности коэффициента расхода арифметически добавляется величина $U'_{\alpha L}$ равная 0,75%.

Одновременное сокращение длин прямолинейных участков до и после трубки "ANNUBAR 485" не допускается.

6.7.7 Отклонение трубки ANNUBAR от линии соответствующей диаметру ИТ не должно превышать 3°.(см. рисунок 6.1.а)

6.7.8 Отклонение трубки ANNUBAR относительно плоскости перпендикулярной продольной оси ИТ не должно превышать 3°.(см. рисунок 6.1.б)

6.7.9 Отклонение (поворот) трубки ANNUBAR относительно плоскости продольной оси ИТ не должно превышать 3°.(см. рисунок 6.1.в)



а) б) в)

Рисунок 6.1.

6.7.10 Для измерений расхода и количества сред в одном направлении две трубки ANNUBAR могут быть установлены последовательно. При этом абсолютное или избыточное давление среды в ИТ измеряют в соответствии с пунктом 6.2.2.5, температуру среды в ИТ измеряют по пункту 6.3.10 термометром, встроенным в трубку ANNUBAR. Расстояние между трубками ANNUBAR определяют в соответствии с пунктом 6.3.4 а), б), г), где в качестве ПТ принимают трубку ANNUBAR установленную первой по потоку.

6.7.11 Для измерений расхода и количества сред в прямом и обратном направлениях две трубки ANNUBAR могут быть установлены последовательно. При этом абсолютное или избыточное давление среды в ИТ измеряют в соответствии с пунктом 6.2.2.5, температуру среды в ИТ измеряют по пункту 6.3.10 термометром, встроенным в трубку ANNUBAR. Расстояние между трубками ANNUBAR определяют в соответствии с пунктом 6.3.4 а), б), г) или пунктом 6.3.5 б), в), д), в зависимости от того, где (до или после) относительно трубки ANNUBAR, измеряющей расход (количество), установлена вторая трубка ANNUBAR.

7 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА

7.1 При проведении монтажа и демонтажа СИ и выполнении измерений необходимо соблюдать правила техники безопасности, приведенные в эксплуатационной документации СИ и вспомогательного оборудования. При проведении измерений должны быть обеспечены условия, соответствующие требованиям охраны труда, приведенные в нормативных документах РФ и документах действующих на объекте.

7.2 Перед монтажом СИ и вспомогательного оборудования необходимо проверить наличие и целостность маркировок взрывозащиты, наличие и целостность крепежных элементов, оболочек. Монтаж узлов и электрические подключения необходимо производить в строгом соответствии со схемами соединений, приведенных в инструкциях по монтажу (руководствах по эксплуатации). Запрещается вносить какие-либо изменения в электрическую схему, а также использовать любые запасные части, не предусмотренные технической документацией.

7.3 В процессе эксплуатации СИ и вспомогательное оборудование должны подвергаться периодическому осмотру (не реже одного раза в месяц). При осмотре проверяют целостность их оболочек, наличие и целостность крепежных элементов, пломб, предупредительных надписей и др.

7.4 К проведению монтажа и выполнению измерений допускаются лица, изучившие эксплуатационную документацию на СИ и вспомогательное оборудование, прошедшие инструктаж по технике безопасности.

7.5 Операторы должны знать и выполнять требования руководств по эксплуатации СИ, применяемых при выполнении измерений.

8 УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Средства измерений

8.1.1 Условия эксплуатации СИ соответствуют условиям их эксплуатации, установленным изготовителями этих СИ.

8.1.2 Диапазон измерений применяемого СИ должен быть не менее диапазона изменений измеряемого параметра.

8.1.3 Измерения следует выполнять СИ, прошедшими поверку или калибровку в зависимости от сферы применения и имеющие действующие свидетельства о поверке или калибровке.

8.1.4 СИ применяют в соответствии с требованиями, изложенными в их эксплуатационной документации.

8.1.5 СИ и их монтаж на ИТ соответствуют требованиям раздела 6 настоящей рекомендации.

8.2 Измеряемая среда

8.2.1 Трубку ANNUBAR применяют для измерений расхода сжимаемых (газ, пар) и несжимаемых (жидкость) однофазных и однородных по физическим свойствам стационарных или медленно изменяющихся во времени дозвуковых потоках сред с динамической вязкостью не более 0,05 Па·с (50 сП).

Расход среды считается медленно меняющийся во времени, если выполняется условие (6.1) ГОСТ 8.586.1. Проверку данного условия проводят в соответствии с Приложением Ж ГОСТ 8.586.1.

Примечания

1. Среда считается однородной, если ее свойства (состав, плотность, давление и др.) изменяются в пространстве непрерывно (по ГОСТ 8.586.1-2005).

2. Среда считается однофазной, если все ее составляющие части принадлежат одному и тому же жидкому или газообразному состоянию (по ГОСТ 8.586.1-2005).

8.2.2 Минимально допускаемое число Рейнольдса трубки ANNUBAR (Re_{rod}) не менее значения, приведенного в таблице 8.1.

Таблица 8.1. - Минимально допускаемое число Рейнольдса

Типоразмер трубки ANNUBAR	Минимально допускаемое число Рейнольдса (Re_{rod})
ANNUBAR Diamond II+	
10 (типоразмер ½")	4000
10 (типоразмеры ½…2")	2300
15/16	6500
25/26	10000
35/36	15000
45/46	25000
ANNUBAR 285 / ANNUBAR 485	
1	6500
2	12500
3	25000
ANNUBAR 585	
11	6500
22	10000
44	25000

8.2.3 Фазовое состояние измеряемой среды не изменяется при ее течении через трубку ANNUBAR.

8.2.4 Разность давлений между осредняющими камерами трубки ANNUBAR не менее значений минимально допускаемой разности давлений ΔP_{MIN}. Минимально допускаемая разность давлений ΔP_{MIN} трубки ANNUBAR приведена в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Минимально допускаемая разность давлений ΔP_{MIN}

Измеряемая среда	Минимальная разность давлений ΔP_{MIN}, кПа
Вода	0,0623
Газ	0,0249
Пар (датчики перепада смонтированы снизу ИТ)	0,497
Пар (датчики перепада смонтированы сверху ИТ)	0,187

8.2.5 Разность давлений не превышает максимально допускаемую разность давлений для применяемой трубки ANNUBAR. Максимальная разность давлений (Max Allowable DP) приведена в расчетном листе на каждую трубку ANNUBAR. Примеры расчетных листов приведены в Приложении Д.

8.3 Трубка ANNUBAR

8.3.1 Трубка ANNUBAR должна соответствовать требованиям технической документации фирмы-изготовителя.

8.3.2 Геометрические размеры трубки ANNUBAR соответствуют требованиям, изложенным в документации на конкретный экземпляр трубки ANNUBAR.

8.3.3 Трубка ANNUBAR и ее монтаж на ИТ соответствуют требованиям раздела 6.7.

8.4 Измерительный трубопровод

8.4.1 ИТ соответствует требованиям раздела 6.8 настоящей рекомендации.

8.4.2 ИТ при выполнении измерений расхода и количества среды полностью заполнен средой.

9 ПОДГОТОВКА К ИЗМЕРЕНИЯМ И ИХ ВЫПОЛНЕНИЕ

9.1 Перед проведением измерений проверяют:

- соответствие наименьших длин прямолинейных участков ИТ требованиям, изложенным в Приложении Г (проверку проводят перед пуском в эксплуатацию ИК);

- соответствие монтажа соединительных и заборных трубок требованиям, изложенным в разделе 6 (проверку проводят один раз в год);
- соответствие конструкции трубки ANNUBAR требованиям технической документации (проверку проводят перед пуском в эксплуатацию ИК);
- соответствие монтажа средств измерений требованиям инструкций по монтажу и/или соответствующих разделов эксплуатационной документации (проверку проводят не реже, чем один раз в год);
- соответствие условий проведения измерений требованиям, изложенным в разделе 6 (проверку проводят не реже, чем один раз в год).

Примечание – Проверку трубки ANNUBAR на соответствие пункта 6.2 для средств измерений, зарегистрированных в государственном реестре средств измерений, в состав которых входит трубка ANNUBAR (например, система PROROC-M, расходомеры Probar, MassProbar и т.д.), проводят через межповерочный интервал, указанный для этих средств измерений.

Кроме того, проверяют герметичность всех узлов и соединений, в которых находится измеряемая среда. Проверку герметичности узлов и соединений выполняют ежемесячно.

9.2 По договоренности заинтересованных сторон допускается проверку ИК или отдельных его узлов и соединений проводить чаще, чем это указано в пункте 9.1.

9.3 Для параметров, принимаемых за условно-постоянные величины, определяют их значения и вводят в память вычислительного устройства. Значения условно-постоянных параметров рассчитывают по формуле

$$y = \frac{y_{MIN} + y_{MAX}}{2}, \qquad (9.1)$$

где y_{MAX} и y_{MIN} - верхнее и нижнее значение диапазона изменения параметра y.

9.4 После проверки все средства измерений в соответствии с требованиями инструкций по их монтажу и эксплуатации приводят в рабочее состояние и проводят измерения параметров, по которым определяют количество и/или расход среды.

9.5 При обнаружении несоответствия ИК хотя бы одному из требований, указанных в пункте 9.1, принимают меры, направленные на устранение этого несоответствия.

Порядок восстановления действительных результатов измерений, связанных с обнаружением несоответствия по пункту 9.1, устанавливают договором между заинтересованными сторонами. Основанием восстановления результатов может служить анализ прошедших или/и последующих результатов измерений, или/и обнаруженных ошибок, или погрешностей измерений.

10 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

10.1 Расчет расхода среды

10.1.1 Исходные данные и применяемые формулы

10.1.1.1 Исходные данные

Для расчета расхода среды необходимы следующие исходные данные:

- типоразмер трубки ANNUBAR;
- ширина трубки ANNUBAR d_{20};
- внутренний диаметр ИТ D_{20};
- материал, из которого изготовлена трубка ANNUBAR;
- материал, из которого изготовлен прямолинейный участок ИТ непосредственно перед трубкой ANNUBAR;
- для смеси газов (в т.ч. природного газа) - полный ее компонентный состав (при расчете свойств смеси газов по полному компонентному составу);
- молярные доли диоксида углерода x_y и азота x_a в природном газе и его плотность при стандартных условиях ρ_c (для природного газа при расчете его свойств по неполному компонентному составу по ГОСТ 30319.1, ГОСТ 30319.2);

- плотность среды в рабочих условиях ρ (при применении плотномера);

- перепад давления на трубке ANNUBAR ΔP;

- абсолютное давление P среды или избыточное давление P_u среды

- атмосферное давление P_a (при измерении в ИТ избыточного давления среды);

- температура среды t.

Примечание – Некоторые из перечисленных параметров или характеристик в зависимости от конкретного вида применяемых основных расчетных формул могут не использоваться.

10.1.1.2 Определение значений исходных величин

Значения параметров и характеристик трубки ANNUBAR (d_{20}, марки материала, из которого изготовлена трубка ANNUBAR) – в соответствии с актом (протоколом) измерений геометрических параметров трубки ANNUBAR.

Значения параметров и характеристик ИТ (D_{20}, марка материалов, из которого изготовлен ИТ) – в соответствии с актом (протоколом) измерений геометрических параметров ИТ.

Значения физико-химических параметров смеси газов - полный состав смеси или (для природного газа) ρ_c, x_a, x_y, а также значения параметров потока - ΔP, t, P (или P_u и P_a) измеряют в соответствии с требованиями настоящей рекомендации.

10.1.2 Порядок расчета расхода среды

Расчет расхода среды в общем случае выполняют следующим образом:

а) для смесей определяют компонентный состав, необходимый для расчета плотности, вязкости и показателя адиабаты (для газов) при применении косвенных методов их расчета;

б) определяют параметры измеряемой среды:

- разность давлений ΔP в соответствии с пунктом 6.2.1;

- абсолютное давление P в соответствии с пунктом 6.2.2;

- температуру T в соответствии с пунктом 6.3.

в) для жидкостей определяют при рабочей температуре давление насыщенных паров P_S;

г) для жидкостей проверяют выполнение условия:

$$P_S \le P - \Delta P; \qquad (10.1)$$

д) для газов при отсутствии плотномера и (или) расчете объемного расхода, приведенного к стандартным условиям, определяют плотность в стандартных условиях ρ_c (для природного газа – по ГОСТ 30319.1, для других сред – по пункту 5.3.3);

е) определяют плотность измеряемой среды ρ по показаниям плотномера (при его наличии) или косвенным методом расчета;

ж) для газа и пара рассчитывают κ (для природного газа – по ГОСТ 30319.1, ГОСТ 30319.3, для других сред – по пункту 5.3.3)

з) рассчитывают K_T и K_0 (по пунктам В.1 и В.2);

и) рассчитывают D и d (по пунктам В.1 и В.2) и B (по пункту 3.28);

к) для газов и пара рассчитывают ε (по пунктам 3.13 и 5.3.2);

л) рассчитывают α (по Приложению Б);

м) рассчитывают расход (по пунктам 5.2.1 – 5.2.3);

н) рассчитывают μ (для природного газа – по ГОСТ 30319.1, ГОСТ 30319.3, для воды и пара – по ГСССД МР 147, для других сред – по пункту 5.3.3);

о) рассчитывают число Рейнольдса Re_{rod} (по пункту 3.12);

п) проверяют соответствие числа Рейнольдса Re_{rod} минимально допускаемому значению числа Рейнольдса из таблицы 8.1 в зависимости от типоразмера трубки ANNUBAR.

р) проверяют соответствие измеренного перепада давления ΔP, допустимым пределам в соответствии с пунктами 8.2.4 и 8.2.5;

с) при выполнении условий по пунктам перечисления о), р) значение расхода, рассчитанное по пункту м) принимают за искомое значение расхода среды.

Примечание – порядок выполнения пунктов при вычислении расхода может быть изменен, если эти изменения не влияют на результат вычислений расхода.

10.1.3 Примеры расчета расхода среды

10.1.3.1 Пример расчета объемного расхода природного газа при стандартных условиях приведен в пункте Е.1 Приложения Е.

10.1.3.2 Пример расчета массового расхода перегретого пара приведен в пункте Е.2 Приложения Е.

10.2 Расчет количества среды

Объем и массу среды определяют путем интегрирования функции расхода по времени.

Операцию интегрирования реализуют с помощью вычислительного устройства путем циклического процесса расчета расхода по переменным исходным данным и их суммирования по одной из формул, приведенных в подразделе 5.4.

Процедура выполнения расчета расхода на одном цикле вычислений аналогична изложенной в подразделе 10.1.

10.3 Представление результатов измерений и расчетов

Результаты измерений и расчета представляют именованным числом.

Представление результатов расхода и количества среды следует сопровождать указаниями моментов времени (для количества среды — интервалов времени), соответствующих каждому из представленных результатов измерений.

Наименьшие разряды числовых значений результатов измерений должны быть такими же, как наименьшие разряды числовых значений абсолютной расширенной неопределенности измерений.

Необходимое число значащих цифр N определяемой величины у может быть рассчитано по формуле

$$N = 4 - \lg\left(2 \cdot A \cdot U_y^{'}\right), \tag{10.2}$$

где А - числовое значение первой значащей цифры значения величины y;

Значение N округляют до целого числа.

11 ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДА И КОЛИЧЕСТВА СРЕДЫ

11.1 Общие положения

11.1.1 При оценке относительной расширенной неопределенности результатов измерений расхода и количества среды определяют интервал вокруг результата измерения, в пределах которого находятся значения, которые с 95 % - ым уровнем доверия могут быть приписаны измеряемой величине.

11.1.2 Процедура оценки неопределенности результатов измерений расхода и количества среды предполагает наличие ограниченной

исходной информации, когда для СИ нормированы только следующие метрологические характеристики:

- пределы допускаемых значений основной погрешности СИ или неопределенности результатов измерений, вносимой СИ, с указанием уровня доверия;

- пределы допускаемых значений дополнительных погрешностей СИ или неопределенности результатов измерений, вносимые СИ, при наибольших отклонениях внешних влияющих величин от нормальных значений, либо максимально допускаемые значения коэффициентов влияния.

При этом отсутствует информация о виде функции распределения внешних влияющих величин и частотных характеристиках изменений измеряемой величины и внешних влияющих величин.

В этом случае принимают следующие допущения (по ГОСТ 8.586.5):

- все значимые систематические эффекты учтены в результатах измерений;

- за математическое ожидание коэффициента чувствительности принимают его нормируемое максимально допускаемое значение;

- между входными переменными уравнения измерения расхода не существует корреляционных связей;

- распределение вероятностей значений измеряемой величины соответствует нормальному закону Гаусса.

При оценке неопределенности результатов измерений расхода и количества среды принимают следующие допущения:

- погрешности определения α, ε, ΔP, ρ не зависят друг от друга;

- погрешности определения K_T, K_0 являются малыми величинами;

- погрешность определения коэффициента расширения ε, обусловленная погрешностью определения коэффициента перекрытия B, является малой величиной;

- погрешность определения коэффициента сжимаемости среды K и плотности в стандартных условиях ρ_C не зависят друг от друга.

Для количественного выражения неопределенности результата измерения, представленной в виде границ отклонения значения величины от ее оценки (неполное знание о значении величины), полагают, что распределение возможных значений измеряемой величины в указанных границах не противоречит равномерному распределению.

11.1.3 Относительную расширенную неопределенность результата измерений величины *y* при 95 %-ном уровне доверия рассчитывают по формуле

$$U_y^{'} = 2 \cdot u_y^{'}. \qquad (11.1)$$

Если известна относительная расширенная неопределенность $U_y^{'}$, с указанием уровня доверия или используемого коэффициента охвата, то относительную стандартную неопределенность результата измерений $u_y^{'}$ величины *y* рассчитывают по формуле

$$u_y^{'} = \frac{U_y^{'}}{k_o}, \qquad (11.2)$$

где

k_o - коэффициент охвата, зависящий от распределения вероятностей, приписанного рассматриваемой величине, и уровня доверия.

Примечания

1. В соответствии с РМГ 43-2001, для большинства практических случаев:

- для нормального закона распределения k_o=2 при 95 % - ом уровне доверия и k_o=3 при 99 % - ом уровне доверия;
- для равномерного закона распределения k_o=1,65 при 95 % - ом уровне доверия и k_o=1,71 при 99 % - ом уровне доверия.

2. При расчете относительной стандартной неопределенности результата измерений величины *y* при уровне доверия отличном от уровня 95% и закона распределения отличного от нормального в формулах (11.4) ÷ (11.12), вместо значения 0,5 следует использовать значение 1/ k_o.

Если известны только границы (y_{MIN} и y_{MAX}) для величины y, то относительную стандартную неопределенность результата измерений величины *y* рассчитывают по формуле

$$u_y^{'} = \frac{(y_{MAX} - y_{MIN})}{\sqrt{3} \cdot (y_{MAX} + y_{MIN})} \cdot 100\%. \qquad (11.3)$$

11.1.4 Относительную стандартную неопределенность результата измерений величины *y*, обусловленную основной погрешностью СИ рассчитывают последующим формулам:

- при известных пределах основной относительной погрешности δy_o

$$u_{yo}^{'} = 0{,}5 \cdot \delta y_o, \qquad (11.4)$$

- при известных пределах основной абсолютной погрешности Δy_o

$$u_{yo}^{'} = 0{,}5 \cdot \frac{\Delta y_o}{y} \cdot 100\%, \qquad (11.5)$$

- при известных пределах основной приведенной погрешности γ_{yo}, если нормирующим параметром принят диапазон измерений $(y_B — y_H)$,

$$u_{yo}^{'} = 0{,}5 \cdot \gamma y_o \cdot \frac{(y_B - y_H)}{y}. \qquad (11.6)$$

11.1.5 Дополнительную составляющую относительной стандартной неопределенности величины y, вызванную внешней влияющей величиной рассчитывают в зависимости от способа ее нормирования по пунктам 11.1.5.1 или 11.1.5.2.

11.1.5.1 Дополнительную составляющую относительной стандартной неопределенности величины *y*, вызванную внешней влияющей величиной при нормировании пределов допускаемых значений погрешности СИ при наибольших отклонениях внешней влияющей величины от нормального значения, рассчитывают по следующим формулам:

- при известных пределах дополнительной относительной погрешности $\delta y_д$

$$u'_{уд} = 0{,}5 \cdot \delta y_д, \qquad (11.7)$$

- при известных пределах дополнительной абсолютной погрешности $\Delta y_д$

$$u'_{уд} = 0{,}5 \cdot \frac{\Delta y_д}{y} \cdot 100\%, \qquad (11.8)$$

- при известных пределах дополнительной приведенной погрешности $\gamma y_д$, если нормирующим параметром принят диапазон измерений ($y_B - y_H$),

$$u'_{уд} = 0{,}5 \cdot \gamma y_д \cdot \frac{(y_B - y_H)}{y}. \qquad (11.9)$$

11.1.5.2 Дополнительную составляющую относительной стандартной неопределенности величины y, вызванную внешней влияющей величиной при нормировании пределов допускаемых значений коэффициентов влияния, рассчитывают по следующим формулам:

- при известных пределах дополнительной относительной погрешности $\delta y_д$ при отклонении значения влияющей величины на ΔX

$$u'_{уд} = 0{,}5 \cdot \delta y_д \cdot \frac{\Delta X_{MAX}}{\Delta X}, \qquad (11.10)$$

- при известных пределах дополнительной абсолютной погрешности $\Delta y_д$ при отклонении значения влияющей величины на ΔX

$$u'_{уд} = 0{,}5 \cdot \frac{\Delta y_д}{y} \cdot \frac{\Delta X_{MAX}}{\Delta X} \cdot 100\%, \qquad (11.11)$$

- при известных пределах дополнительной приведенной погрешности $\gamma y_д$, если нормирующим параметром принят диапазон

измерений (y_B - y_H) при отклонении значения влияющей величины на ΔX

$$u'_{уд} = 0{,}5 \cdot \gamma_{y_д} \cdot \frac{(y_B - y_H)}{y} \cdot \frac{\Delta X_{MAX}}{\Delta X}, \qquad (11.12)$$

где

ΔX_{MAX} - наибольшее отклонение внешней влияющей величины от нормального значения.

11.1.6 Относительную стандартную неопределенность значения измеряемой величины y с учетом ее основной и дополнительных составляющих рассчитывают по формуле

$$u'_y = \sqrt{u'^2_{yo} + \sum_{i=1}^{N} u'^2_{удi}}, \qquad (11.13)$$

где

N - число влияющих величин;

u'_{yo} - относительная стандартная неопределенность результата измерений величины у, рассчитанная без учета дополнительных составляющих неопределенности, вызванных внешними влияющими величинами;

$u'_{удi}$ - дополнительный вклад в неопределенность результата измерений величины у от i - й влияющей величины.

Примечание – В случае, если пределы погрешности СИ нормируется в виде пределов погрешности, учитывающих и основную и дополнительные погрешности, значение относительной стандартной неопределенности результата измерений величины y рассчитывается по формулам (11.4) - (11.6), подставляя в формулы вместо u'_{yo}, $\delta y_o, \Delta y_o, \gamma y_o$, соответственно, u'_y, $\delta y, \Delta y, \gamma y$.

11.1.7 Относительную стандартную неопределенность результата измерений величины y, определяемую косвенным методом, которая

связана функциональной зависимостью с измеряемыми величинами y (например температурой, давлением, компонентным составом)

$$y = F(y_1, y_2, ... y_N), \tag{11.14}$$

рассчитывают по формуле

$$u'_y = \sqrt{u'^2_{mF} + \sum_{i=1}^{N} \vartheta^2_{yi} \cdot u'^2_{yi}}, \tag{11.15}$$

где

u'_{mF} - неопределенность, приписываемая функциональной зависимости;

u'_{yi} - неопределенность результата измерения *i* - й величины;

ϑ_{yi} - относительный коэффициент чувствительности величины *y* к изменению *i* - *й* измеряемой величины.

Примечание - При известной абсолютной погрешности Δy или относительной погрешности δy, приписываемой функциональной зависимости, неопределенность u'_{mF} рассчитывают по формуле

$$u'_{mF} = \frac{\Delta y}{y \cdot \sqrt{3}} \cdot 100\% = \frac{\delta y}{\sqrt{3}}, \tag{11.16}$$

Относительный коэффициент чувствительности рассчитывают по формуле

$$\vartheta_{yi} = F'_{yi} \cdot \frac{y_i}{y}, \tag{11.17}$$

где F_{yi} - частная производная функции *F* по *y*.

Если неизвестна математическая взаимосвязь величины y с величиной y_i или дифференцирование функции F затруднено, то коэффициент влияния рассчитывают по формуле

$$\vartheta_{yi} = \frac{\Delta y}{\Delta y_i} \cdot \frac{y_i}{y}, \qquad (11.18)$$

где Δy - изменение определяемой величины y при изменении y на величину Δy_i.

11.1.8 Относительная расширенная неопределенность должна быть представлена не более чем двумя значащими цифрами.

11.2 Формулы для расчета неопределенности расхода среды

11.2.1 Формула для расчета относительной стандартной неопределенности при измерении расхода по формулам (5.3) и (5.5) для несжимаемой среды (жидкость):

$$u_q' = \sqrt{u_\alpha'^2 + 4 \cdot u_D'^2 + 0{,}25 \cdot \left(u_{\Delta P}'^2 + u_\rho'^2\right) + u_N'^2}, \qquad (11.19)$$

11.2.2 Формула для расчета относительной стандартной неопределенности при измерении расхода по формулам (5.3) и (5.5) для сжимаемой среды (газ и пар):

$$u_q' = \sqrt{u_\alpha'^2 + 4 \cdot u_D'^2 + u_\varepsilon'^2 + 0{,}25 \cdot \left(u_{\Delta P}'^2 + u_\rho'^2\right) + u_N'^2}, \qquad (11.20)$$

11.2.3 Формула для расчета относительной стандартной неопределенности при измерении расхода по формуле (5.7):

$$u_q' = \sqrt{u_\alpha'^2 + 4 \cdot u_D'^2 + u_\varepsilon'^2 + 0{,}25 \cdot \left(u_{\Delta P}'^2 + u_\rho'^2\right) + u_T'^2 + u_P'^2 + u_K'^2 + u_N'^2}, \qquad (11.21)$$

11.2.4 Формула для расчета относительной стандартной неопределенности при измерении расхода по уравнениям (5.4), (5.6), (5.8), (5.9):

а) в случае, если ρ и ρ_C независимы (формула (5.8)) для несжимаемой среды (жидкость):

$$u_q' = \sqrt{u_\alpha'^2 + 4 \cdot u_D'^2 + 0{,}25 \cdot \left(u_{\Delta P}'^2 + u_\rho'^2\right) + u_{\rho c}'^2 + u_N'^2}\,, \qquad (11.22)$$

б) в случае, если ρ и ρ_C независимы (формула (5.8)) для сжимаемой среды (газ и пар):

$$u_q' = \sqrt{u_\alpha'^2 + 4 \cdot u_D'^2 + u_\varepsilon'^2 + 0{,}25 \cdot \left(u_{\Delta P}'^2 + u_\rho'^2\right) + u_{\rho c}'^2 + u_N'^2}\,, \qquad (11.23)$$

в) в случае, если ρ и ρ_c зависимы (формулы (5.4), (5.6), (5.9)):

$$u_q' = \sqrt{u_\alpha'^2 + 4 \cdot u_D'^2 + u_\varepsilon'^2 + 0{,}25 \cdot \left(u_{\Delta P}'^2 + u_{\rho c}'^2 + u_T'^2 + u_P'^2 + u_K'^2\right) + u_N'^2}\,. \qquad (11.24)$$

11.2.5 Формула для расчета относительной стандартной неопределенности при измерении расхода при применении ИК (расходомеров) на базе трубок ANNUBAR с нормированными пределами погрешности (неопределенности) измерений расхода (количества)

$$u_q' = \sqrt{u_F'^2 + u_{qA}'^2}\,, \qquad (11.25)$$

где

u_F' - относительная стандартная неопределенность при измерении расхода ИК (расходомера) на базе трубок ANNUBAR с нормированными пределами погрешности (неопределенности) измерений расхода (количества);

u_{qA}' - относительная стандартная неопределенность при измерении расхода, рассчитанная по формулам (11.19) – (11.24).

При расчете относительной стандартной неопределенности при измерении расхода u_{qA}', значения относительных стандартных неопределенностей, приведенные в формулах (11.19) – (11.24) или применяемые для их расчета принимаются равными нулю, если они

учитываются в относительной стандартной неопределенности при измерении расхода ИК (расходомера) на базе трубки ANNUBAR с нормированными пределами погрешности (неопределенности) измерений расхода (количества) $u_F^{'}$.

11.3 Составляющие неопределенности измерения расхода среды

11.3.1 Относительную стандартную неопределенность коэффициента расхода $u_\alpha^{'}$ рассчитывают по формуле

$$u_\alpha^{'} = 0{,}5 \cdot \left(U_{\alpha 0}^{'} + U_{\alpha D}^{'} + U_{\alpha L}^{'} + U_{it}^{'}\right). \qquad (11.26)$$

11.3.1.1 Относительную расширенную неопределенность коэффициента расхода $U_{\alpha 0}^{'}$ принимают равной:

2 %	для трубок “ANNUBAR 285” (для газа и пара);
1,5 %	для трубок “ANNUBAR 585”;
1 %	для трубок “ANNUBAR 285” (для жидкости);
1 %	для трубок “ANNUBAR Diamond II+”;
0,75 %	для трубок “ANNUBAR 485”.

При монтаже трубки ANNUBAR в соответствии с конфигурациями ИТ, приведенными в таблице А.2 приложения А (монтаж в колене), относительную расширенную неопределенность коэффициента расхода $U_{\alpha 0}^{'}$ принимают равной 3 % для всех типов трубки ANNUBAR.

11.3.1.2 Дополнительную относительную расширенную неопределенность коэффициента расхода трубки ANNUBAR от влияния нецилиндричности ИТ $U_{\alpha D}^{'}$ определяют по пункту 6.6.1.1.

11.3.1.3 Дополнительную относительную расширенную неопределенность коэффициента расхода трубки ANNUBAR от сокращения прямолинейных участков ИТ $U_{\alpha L}^{'}$ определяют по пункту 6.7.6.

11.3.1.4 Дополнительную относительную расширенную неопределенность коэффициента расхода трубки ANNUBAR от

сокращения прямолинейных участков $U_{lt}^{'}$ определяют по пунктам 6.3.4 и 6.3.5.

11.3.2 Относительную стандартную неопределенность внутреннего диаметра ИТ $u_D^{'}$ принимают равной:

а) в случае измерений внутреннего диаметра ИТ по методике, изложенной в пункте 6.6.1.3, относительную стандартную неопределенность при измерениях внутреннего диаметра измерительного трубопровода D рассчитывают по формулам:

- в случае измерений внутреннего диаметра ИТ по пункту 6.6.1.3 а):

$$u_D^{'} = 0{,}05 + 50 \cdot \frac{\Delta_D}{D}, \tag{11.27}$$

- в случае измерений внутреннего диаметра ИТ по пункту 6.6.1.3 б):

$$u_D^{'} = 0{,}075 + \frac{50}{D} \cdot \sqrt{\left(\Delta_D^B\right)^2 + \left(2 \cdot \Delta_h\right)^2}, \tag{11.28}$$

где

Δ_h - пределы абсолютной погрешности измерений толщины стенки ИТ;

Δ_D - пределы абсолютной погрешности измерений внутреннего диаметра ИТ;

Δ_D^B - пределы абсолютной погрешности измерений внешнего диаметра ИТ.

Пределы абсолютной погрешности измерений толщины стенки, внутреннего диаметра ИТ и внешнего диаметра ИТ принимают равными пределам погрешности СИ, применяемых для их измерений.

б) допускается проводить измерения внутреннего диаметра ИТ по методике, изложенной в пункте 6.4.2 ГОСТ 8.586.2. При этом относительную стандартную неопределенность определения внутреннего диаметра ИТ D принимают равной 0,1%;

в) в случае измерений внутреннего диаметра по методикам, приведенным в других нормативных документах, пределы погрешности при измерениях внутреннего диаметра ИТ D или относительную стандартную неопределенность определения внутреннего диаметра ИТ D принимают равными значения, приведенным в нормативном документе на применяемую методику.

11.3.3 Относительную стандартную неопределенность измерений перепада давления определяют в соответствии с пунктом 10.3.4 ГОСТ 8.586.5.

11.3.4 Относительную стандартную неопределенность определения плотности в рабочих условиях u'_{ρ} определяют в соответствии с пунктом 10.3.8 ГОСТ 8.586.5.

11.3.5 Относительную стандартную неопределенность определения коэффициента расширения u'_{ε} рассчитывают по формуле

$$u'_{\varepsilon} = 0{,}15 \cdot \frac{\Delta P}{P} \cdot \sqrt{u'^{2}_{k} + u'^{2}_{P} + u'^{2}_{\Delta P}} \,. \qquad (11.29)$$

11.3.6. Относительную стандартную неопределенность измерений давления u'_{P} определяют в соответствии с пунктом 10.3.5 ГОСТ 8.586.5.

11.3.7 Относительную стандартную неопределенность измерений температуры u'_{T} определяют в соответствии с пунктом 10.3.6 ГОСТ 8.586.5.

11.3.8 Относительную стандартную неопределенность коэффициента сжимаемости газа определяют в соответствии с утвержденными в соответствующем порядке методиками.

11.3.9 Относительную стандартную неопределенность при определении показателя адиабаты газа и перегретого пара (u'_{k} для формулы (11.29)) определяют в соответствии с утвержденными в соответствующем порядке методиками, устанавливающими метод определения показателя адиабаты.

11.3.10 Относительную стандартную неопределенность плотности газа при стандартных условиях $u'_{\rho c}$ определяют по пункту 10.3.7 ГОСТ 8.586.5.

11.3.11 Относительную стандартную неопределенность параметров, принятых за условно-постоянные величины, определяют по формуле

$$u'_y = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{(y_{MAX} - y_{MIN})}{(y_{MAX} + y_{MIN})} \cdot 100\%, \qquad (11.30)$$

где y_{MAX} и y_{MIN} - верхнее и нижнее значение диапазона изменения параметра.

11.3.12 Относительную стандартную неопределенность при вычислении расхода u'_N принимают равной 0,5 пределов относительной погрешности вычисления расхода устройством обработки результатов измерений.

11.4 Оценка неопределенности результатов определения количества среды

Оценку неопределенности результатов определения количества среды проводят в соответствии с пунктом 10.4 ГОСТ 8.586.5.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБОК ANNUBAR
(справочное)

А.1 Основные характеристики трубок “ANNUBAR DIAMOND II+”

Таблица А.1 - Основные характеристики трубок “ANNUBAR DIAMOND II+”

Характеристики	Значение
Измеряемая среда	газы, жидкости или пар
Наименование типоразмера	10, 15/16, 25/26, 35/36, 45/46*
Диапазон внутренних диаметров ИТ: - типоразмер 10 - типоразмер 15/16 - типоразмер 25/26 - типоразмер 35/36 - типоразмер 45/46	 от 15 до 50 мм от 50 до 250 мм от 100 до 1100 мм от 200 до 1800 мм от 250 до 1800 мм**
Исполнения: - для типоразмера 10 - для всех типоразмеров	 InLine (мод. DNT, DNW, DNF) PakLok (мод. DCR), фланцевое (мод. DFF), FloTap (мод. DMT, DHT, DHF)
Максимальное избыточное давление в зависимости от модификации исполнения: - модификация DMT - модификации DCR, DHT и стандартные DNT, DNW, DNF, DHF - модификации DFF и специальное исполнение DNT, DNW, DNF, DHF+25S	 19 бар (по ANSI class 150) 100 бар (по ANSI class 600) 413 бар (по ANSI class 2500)

Характеристики	Значение
Температура измеряемой среды	Определяется материалом трубки ANNUBAR
Возможность установки в корпус трубки встроенного термометра	есть (кроме фланцевых class 900, class 1500 и class 2500)
Тип встроенного термометра	Pt100 класс B (по заказу Pt100 класс A)
Возможность интегрального монтажа трансмиттера перепада давления	Есть (кроме фланцевых class 900, class 1500 и class 2500)
Возможность измерений обратного потока	Есть
Примечания * исполнения 15, 25, 35, 45 – без ответного подпятника, исполнения 16, 26, 36, 46 – с ответным подпятником. ** DSF+46 до 6000 мм.	

А.2 Основные характеристики трубок “ANNUBAR 485”

Таблица А.2 - Основные характеристики трубок “ANNUBAR 485”

Характеристики	Значение
Измеряемая среда	газы, жидкости или пар
Наименование типоразмера	1 (Т1), 2 (Т2) , 3 (Т3)
Диапазон внутренних диаметров ИТ: - типоразмер 1 - типоразмер 2 - типоразмер 3	 от 50 до 200 мм от 150 до 2400 мм от 300 до 2400 мм*
Исполнения (для всех типоразмеров)	фланцевое, PakLok, FlangeLok (гибридный от фланцевого и PakLok), FloTap
Максимальное избыточное давление: - исполнение FloTap, PakLok и FlangeLok - исполнение фланцевое	 100, бар 413 бар (по ANSI class 2500).
Температура измеряемой среды: - исполнение FloTap, PakLok и FlangeLok - исполнение фланцевое	 от -73 до 454 °С от -184 до 677 °С.
Возможность установки в корпус трубки встроенного термометра	Есть (кроме фланцевого исполнения class 900, class 1500 и class 2500)
Тип встроенного термометра	Pt100 класс В (по заказу Pt100 класс А)
Возможность интегрального монтажа трансмиттера перепада давления	Есть (кроме фланцевого исполнения class 900, class 1500 и class 2500)
Возможность измерений обратного потока	нет
Примечание * до 6000 мм (специальное исполнение).	

А.3 Основные характеристики трубок “ANNUBAR 585”

Таблица А.3 - Основные характеристики трубок “ANNUBAR 585”

Характеристики	Значение
Измеряемая среда	газы, жидкости или пар
Наименование типоразмера	11, 22, 44
Диапазон внутренних диаметров ИТ: - типоразмер 11 - типоразмер 22 - типоразмер 44	 от 100 до 600 мм от 150 до 900 мм от 250 до 2400 мм
Исполнения (для всех типоразмеров)	Фланцевое (585SF) Flo-Tap (585SG) 585ML (аналог MSL)
Максимальное избыточное давление: - исполнение 585ML - исполнение фланцевое - исполнение Flo-Tap	 261 бар при 593 °С 413 бар (по ANSI class 2500) 100 бар (по ANSI class 600)
Температура измеряемой среды: - исполнения фланцевое и Flo-Tap - исполнение 585ML	 до 816 °С до 649 °С
Возможность установки в корпус трубки встроенного термометра	Есть
Тип встроенного термометра	Pt100 класс В (по заказу Pt100 класс А)
Возможность интегрального монтажа трансмиттера перепада давления	Есть
Возможность измерений обратного потока	Есть

А.4 Основные характеристики трубок “ANNUBAR 285”

Таблица А.4 - Основные характеристики трубок “ANNUBAR 285”

Характеристики	Значение
Измеряемая среда	газы, жидкости или пар
Наименование типоразмера	1 (Т1), 2 (Т2)
Диапазон внутренних диаметров ИТ: - типоразмер 1 - типоразмер 2	 от 50 до 200 мм от 150 до 2400 мм*
Исполнения (для всех типоразмеров)	PakLok, с монтажной пластиной, гибридный (PakLok + пластина)
Максимальное избыточное давление: - исполнение PakLok - исполнение с пластиной - исполнение гибридное	 от -40 до 149 °С от -40 до 454 °С от -40 до 149 °С
Температура измеряемой среды: - исполнение PakLok - исполнение с пластиной - исполнение гибридное	 19 бар (по ANSI class 150) 0,6 бар 0,6 бар
Возможность установки в корпус трубки встроенного термометра	Нет
Тип встроенного термометра	-
Возможность интегрального монтажа трансмиттера перепада давления	Есть
Возможность измерений обратного потока	Нет
Примечание * до 6000 мм (специальное исполнение)	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСХОДА ТРУБКИ ANNUBAR
(обязательное)

Б.1 Определение коэффициента расхода α трубок ANNUBAR

Б.1.1 Определение коэффициента расхода α трубок "ANNUBAR DIAMOND II+"

а) для типоразмера 10

$$\alpha = C_1 \cdot B + C_2 . \qquad (Б.1)$$

Примечание – При расчете коэффициента перекрытия B используется диаметр входной круглой трубки.

б) для типоразмеров 15/16, 25/26, 35/36, 45/46

$$\alpha = \frac{1 - C_2 \cdot B}{\sqrt{1 - C_1 \cdot (1 - C_2 \cdot B)^2}} . \qquad (Б.2)$$

Таблица Б.1 – Коэффициенты C_1 и C_2 для трубок "ANNUBAR DIAMOND II+"

Коэффициенты	Типоразмер				
	10	15/16	25/26	35/36	45/46
C_1	-0,8212	-1,3452	-1,4300	-1,3416	-1,2613
C_2	0,7269	0,9200	1,2650	1,2075	1,2400

Б.1.2 Определение коэффициента расхода α трубок "ANNUBAR 485", "ANNUBAR 585" и "ANNUBAR 285"

$$\alpha = \frac{1 - C_2 \cdot B}{\sqrt{1 - C_1 \cdot (1 - C_2 \cdot B)^2}} . \qquad (Б.3)$$

Таблица Б.2 – Коэффициенты C_1 и C_2 для трубок "ANNUBAR 485" и "ANNUBAR 285"

Коэффициенты	Типоразмер		
	1	2	3
C_1	-1,515	-1,492	-1,5856
C_2	1,4229	1,4179	1,3318

Таблица Б.3 – Коэффициенты C_1 и C_2 для трубок "ANNUBAR 585"

Коэффициенты	Типоразмер		
	11	22	44
C_1	-1,206	-1,219	-1,211
C_2	1,127	1,168	1,248

Б.2. Допускается значение коэффициента расхода α брать из расчетного листа, поставляемого с трубкой ANNUBAR (в расчетном листе – Annubar Flow Coefficient K).

При монтаже трубки ANNUBAR в соответствии с конфигурациями ИТ, приведенными в таблице Г.2 Приложения Г (монтаж в колене) значение коэффициента расхода α необходимо брать из расчетного листа, поставляемого с трубкой ANNUBAR.

Примеры расчетных листов для трубок "ANNUBAR DIAMOND II+" и "ANNUBAR 485" приведены в Приложении Д.

ПРИЛОЖЕНИЕ В
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРА ИТ И ШИРИНЫ ТРУБКИ ANNUBAR

В.1 Определение внутреннего диаметра ИТ при 20 °С и рабочей температурах

В.1.1 Результат измерений внутреннего диаметра ИТ, выполненный в соответствии с пунктом 6.6.1.3, приводят к температуре 20 °С по формуле

$$D_{20} = \frac{D_И}{1+\gamma_D \cdot (t_И - 20)} = \frac{D_И}{K_T'}. \qquad (В.1)$$

где

$t_И$ – температура окружающей среды во время измерений D, °С;

K_T' – поправочный коэффициент на изменение внутреннего диаметра ИТ, вызванное отклонением $t_И$ от 20 °С.

Внутренний диаметр ИТ при рабочей температуре определяют по формуле

$$D = D_{20} \cdot [1+\gamma_D \cdot (t_И - 20)] = D_{20} \cdot K_T \qquad (В.2)$$

где K_T – поправочный коэффициент на изменение внутреннего диаметра ИТ, вызванное отклонением t от 20 °С.

В.1.2 Значения температурного коэффициента линейного расширения различных материалов для широкого диапазона температур могут быть рассчитаны по формуле

$$\gamma_D = 10^{-6} \cdot [a_0 + 10^{-3} \cdot t \cdot a_1 + 10^{-6} \cdot t^2 \cdot a_2], \qquad (В.3)$$

где a_0, a_1, a_2 - постоянные коэффициенты.

Значения коэффициентов a_0, a_1, a_2 и соответствующие им диапазоны температур приведены в таблице Г.1 Приложения Г ГОСТ 8.586.1 или в таблице В.1 настоящей рекомендации.

В.2 Определение ширины трубки ANNUBAR при 20 °С и рабочей температуре

В.2.1 Ширину трубки ANNUBAR при 20 °С определяют по формуле

$$d_{20} = \frac{d_И}{1+\gamma_d \cdot (t_И - 20)} = \frac{d_И}{K_O'}, \quad (В.4)$$

где

$t_И$ – температура окружающего воздуха, при которой проведены измерения ширины трубки ANNUBAR, °С;

$d_И$ – измеренная ширина трубки ANNUBAR;

K_O' – поправочный коэффициент на изменение ширины трубки ANNUBAR, вызванное отклонением $t_И$ от 20 °С.

В.2.2 Ширину трубки ANNUBAR при рабочей температуре определяют по формуле

$$d = d_{20} \cdot \left[1+\gamma_D \cdot (t_И - 20)\right] = d_{20} \cdot K_O, \quad (В.5)$$

где K_O – поправочный коэффициент на изменение ширины трубки ANNUBAR, вызванное отклонением t от 20 °С.

В.2.3 Значения температурного коэффициента линейного расширения трубки ANNUBAR γ_d рассчитывают по формуле

$$\gamma_d = 10^{-6} \cdot \left[a_0 + 10^{-3} \cdot t \cdot a_1 + 10^{-6} \cdot t^2 \cdot a_2\right], \quad (В.6)$$

где a_0, a_1, a_2 - постоянные коэффициенты.

Значения коэффициентов a_0, a_1, a_2 приведены в таблице В.1.

Таблица В.1 – Значения коэффициентов

Марка материала трубки ANNUBAR	a_0	a_1	a_2	Диапазон температур, °С
Нержавеющая сталь 316 (S31600/CF8M)	15,2	7,0	-1,1	от -184 до +871
Hastelloy C-276	11,0	4,3	1,2	от +21 до +927
Monel 400	13,0	9,1	-4,0	от -184 до +1093
Алюминий (6063-Т6)	22,4	9,6	1,3	от -60 до +300
Нержавеющая сталь 304	14,8	10,2	-8,0	от -268 до +538
Титан (B348 Gr 2)	8,4	2,4	0,3	от 0 до +649
Alloy 800H	13,9	7,5	-3,0	от +21 до +871
PVDF (KYNAR)	127,8	0	0	от +10 до +149
Примечание - таблица составлена по данным изготовителя трубок ANNUBAR				

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
ПРЯМОЛИНЕЙНЫЕ УЧАСТКИ ДЛЯ ТРУБОК ANNUBAR

Г.1 Наименьшая длина прямолинейных участков ИТ между трубкой ANNUBAR и ближайшими местными сопротивлениями, расположенными до и после трубки ANNUBAR, приведена в таблице Г.1.

Таблица Г.1 – Наименьшие длины прямолинейных участков

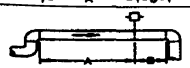
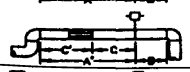
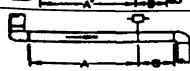
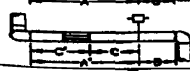
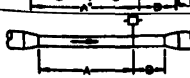
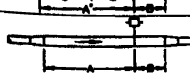
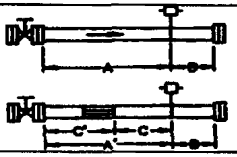
Номер строки		Наименьшая длина прямолинейного участка ИТ					
		до трубки ANNUBAR					В (после трубки ANNUBAR)
		без струевыпрямителя		со струевыпрямителем			
		A (изгиб в плоскости ANNUBAR)	A (изгиб вне плоскости ANNUBAR)	A'	C	C'	
1.		8	10	-	-	-	4
		-	-	8	4	4	4
2.		11	16	8	-	-	4
		-	-	-	4	4	4
3.		23	28	8	-	-	4
		-	-	-	4	4	4
4.		12	12	8	-	-	4
		-	-	-	4	4	4
5.		18	18	8	-	-	4
		-	-	-	4	4	4

Таблица Г.1 (продолжение)

Номер строки		Наименьшая длина прямолинейного участка ИТ					
		до трубки ANNUBAR					B (после трубки ANNUBAR)
		без струевыпрямителя		со струевыпрямителем			
		A (изгиб в плоскости ANNUBAR)	A (изгиб вне плоскости ANNUBAR)	A'	C	C'	
6.		30	30	8	-	-	4
		-	-	-	4	4	4

Примечания

1 Для МС в виде запорных, шаровых, пробковых и других дроссельных клапанов, значения наименьших длин прямолинейных участков ИТ приведены в строке 6 (полуоткрытое состояние клапанов) и в строке 1 (открытое состояние клапанов) таблицы Г.1.

2 Для МС в виде насоса, вентилятора, регулирующего клапана, или иного устройства регулирующего расход, расположенного перед трубкой ANNUBAR, значения наименьшей длины прямолинейного участка ИТ приведены в строке 6 таблицы Г.1.

3 Для МС типы которых не приведены в таблице Г.1, значения наименьшей длины прямолинейного участка ИТ должны быть не менее значений, приведенных в строке 6 таблицы Г.1.

Г.2 Наименьшая длина прямых участков ИТ между трубкой “ANNUBAR 485” и ближайшими местными сопротивлениями, для специального режима расположения ANNUBAR на расстоянии $2D$ после изгиба в 90° (от центральной оси ИТ перед изгибом) приведена в таблице Г.2.

Таблица Г.2 – Наименьшие длины прямолинейных участков для монтажа «в колене 90°».

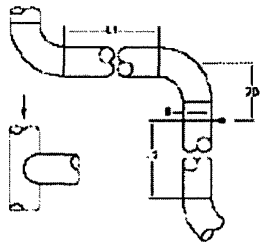
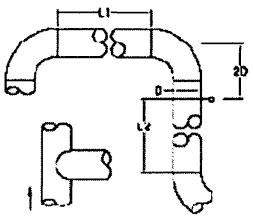
Номер строки	Местное сопротивление		Наименьшая длина прямолинейного участка ИТ	
			L1	L2
1	Одиночное колено 90° не в плоскости установки трубки ANNUBAR		4	2
2	Два 90° колена в одной плоскости (U - образная конфигурация) или тройник в плоскости трубки ANNUBAR		5	2

Таблица Г.2. (продолжение)

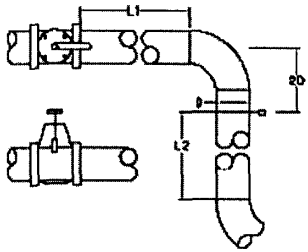
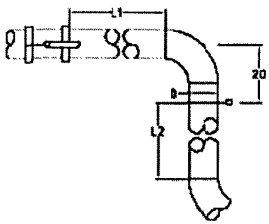
Номер строки	Местное сопротивление		Наименьшая длина прямолинейного участка ИТ	
			L1	L2
3	Шаровой кран или задвижка в плоскости трубки ANNUBAR		3	2
4	Затвор (заслонка) в плоскости трубки ANNUBAR		5	2

Таблица Г.2. (продолжение)

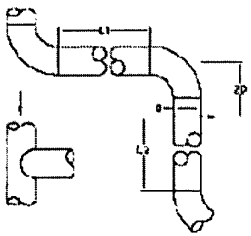
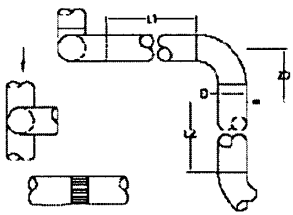
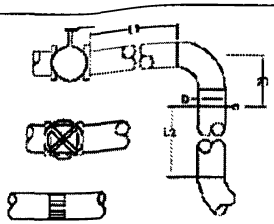
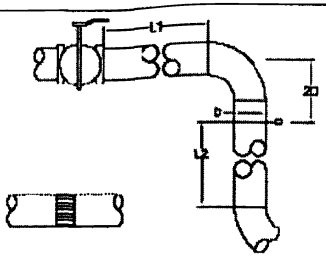
Номер строки	Местное сопротивление		Наименьшая длина прямолинейного участка ИТ	
			L1	L2
5	Два 90° колена в одной плоскости (S – образная конфигурация в плоскости трубки ANNUBAR		4	2
6	Два 90° колена в разных плоскостях		10	2

Таблица Г.2. (окончание)

Номер строки	Местное сопротивление		Наименьшая длина прямолинейного участка ИТ	
			L1	L2
7	Шаровой кран или задвижка не в плоскости трубки ANNUBAR		3	2
8	Затвор (заслонка) не в плоскости трубки ANNUBAR		5	2

Примечания

1. Трубку ANNUBAR располагают в плоскости изгиба с наклоном в любую сторону не более 3°.

2. Прямолинейные участки приведены для полностью открытых кранов. Для кранов в промежуточном положении и для регулирующих клапанов L1 = 16*D*.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
ПРИМЕРЫ РАСЧЕТНЫХ ЛИСТОВ ТРУБОК ANNUBAR

Д.1 Пример расчетного листа трубки “ANNUBAR 485” программой MERLIN

```
Rev. 3.04          Dieterich Standard Flow Calculation              01.03.2004

   Reference: NG          Item: 110        P.O.:
    Customer: Emerson Process Management    Tag:  FT-10
       Model: 485G080ZCHPSIT100T3QZ7
       Fluid: Natural Gas
   Pipe Size: ID = 203       OD=  219       mm                     Horizontal
-------------------------------------------------------------------------------
D.P. Eq'n 2.4 REV 1.0  Gas -- Volume Rate of Flow @ STD Cond
                2
C'= Fna x K x D x Ya x Fpb x Ftb x Ftf x Fg x Fpv x Faa


      1    ( Qs) 2                          /------
hw = --- x ( - )                  Qs = C' x \/ hw x Pf
      Pf   ( C')

-------------------------------------------------------------------------------
Description                    Term   Value       Units
-------------------------------------------------------------------------------
Units Conversion Factor        Fna    0.011347318
ANNUBAR Flow Coefficient       K      0.5926
Internal Pipe Diameter         D      203         mm
Base Pressure Factor           Fpb    1           @   101.325 kPa A
Base Temperature Factor        Ftb    1.0174      @   20 C
Specific Gravity Factor        Fg     1.2274      SG =  0.6638
Blockage                       B      0.0940
-------------------------------------------------------------------------------
                               MAX          NORM         MIN        UNITS
-------------------------------------------------------------------------------
Flowrate                       Qs     49870.6      38362       26853.4   NM3/H
Calculation Constant           C'     343.924      343.959     343.959
Pipe Reynolds Number           Rd     5786800      4451400     3116000
Rod Reynolds Number            Rd'    427330       328710      230100
Flowing Velocity               Vf     12.06        9.273       6.491     m/sec
Gas Expansion Factor           Ya     0.9998       0.9999      0.9999
Flowing Viscosity              uf                  0.012                 Centipoise
Flowing Temperature            Tf                  42                    C
Flowing Temp Factor            Ftf                 0.9562
Supercmprss. Factor            Fpv                 1.039
Thermal Expansion Factor       Faa                 1.0006
Flowing Density                pf                  28.38                 kg/m3
Flowing Pressure               Pf                  3582.7                kPa A
Differential Pressure          hw     5.8689       3.472       1.7013    kPA

Calibrated Flow Range                 0                                   NM3/H
Span (4-20 mA output)                 49870.6
-------------------------------------------------------------------------------
                          LIMITS
       Customer Design P & T:     36          kg/cm2 G    & 45 C
             Max Allowable DP:    74.1        kPA         @ 45 C
    Flow at Max Allowable DP:     176780      NM3/H
           Natural Frequency:     420         CPS
              Wake Frequency:     124         CPS         @ NormFlow
      Max Allowable Pressure:     99.4        kg/cm2 G    @ 45 C
            and Temperature:      260         C

This ANNUBAR provides annual savings up to: 3,218.00 Dollars
  in comparison to: Orifice Plate
```

Д.2 Пример расчетного листа трубки "ANNUBAR 485" программой Instrument Toolkit™

ROSEMOUNT INC.
ANNUBAR FLOWMETER SERIES
CALCULATION DATA SHEET

GENERAL DATA

Customer:	Emerson Process Management
Project:	Test quotation
S. O. No:	
P. O. No:	
Calc. Date:	
Model No:	485G030DCHPS1T10003QC7
Tag No:	F-256

PRODUCT DESCRIPTION

Product Type:	Pak-Lok			Instrument Valve:	Not Applicable
Sensor Size:	1			Valve Material:	Not Applicable
Wetted Material:	316 Stainless Steel			Line Size:	3" (80 mm)
Mounting Conn.Type:				Pipe Sch.:	
Mounting Conn. Material:	Carbon Steel			Pipe Orientation:	Horizontal
Electronics Mounting:				Flange Type:	Compression/Threaded Connection
Max. Allow. Pressure@Temp.:	98 7329 Bar-g	40 C		Pipe Wall Thickness:	4.000 mm
Design Pressure/Temperature:	38 Bar-g	40 C		Max. Allow. Temp.:	260.00 C

INPUT DATA

Fluid Type:	Gas			
Fluid Description:	Typical Natural Gas (Gulf Coast)			
Pipe I.D:	80.000	mm		
Pressure:	32	Bar-g	Base Pressure:	101.325 kPa-a
Temperature at Flow:	5.00	C	Base Temperature:	20.00 C
Absolute Viscosity:	0.01100	cP		
Isentropic Exponent:	1.37000			
Compressibility at Flow:	0.920783		Base Compressibility:	0.997975
Density at Flow:	26.0337	kg/m3	Base Density:	0.699786 kg/m3
Flow Rates				
Minimum:	10000	Nm3/hr		
Normal:	16000	Nm3/hr		
Maximum:	18000	Nm3/hr		
Full Scale:	20000	Nm3/hr		

CALCULATED DATA (Calculation Performed at Normal Conditions. DP in inH2O@68F)

DP at Min Flow:	10.954 kPa	Flow Coefficient:	0.5126
DP at Normal Flow:	28.041 kPa		
DP at Max Flow:	35.490 kPa	Rod Reynolds Number (Normal):	843303
DP at Full Scale Flow:	43.814 kPa	Pipe Reynolds Number (Full Scale):	5626122
Structural Limit (DP):	372.963 kPa	Gas Expansion Factor:	0.9995
Structural Limit (Flow):	58351.87 Nm3/hr	Permanent Pressure Loss:	
Minimum Accurate Flow:	476.6991 Nm3/hr	at Normal Flow:	6.688 kPa
Resonant Frequency:	1612.16 Hz	at Maximum Flow:	8.465 kPa
Wake Frequency:	578.634 Hz	Velocity at Max Flow:	26.738 m/sec

WARNINGS

NOTES

This report is provided according to the terms and conditions of the Instrument Toolkit(TM) End-Use Customer License Agreement.
Version: 3.0 (Build111C) **Printed On:** 05.янв.04

Д.3 Пример расчетного листа комплексного расходомера 3051SFA (содержащего трубку “ANNUBAR 485”) программой Toolkit™

Лист.1 из 2:

Model 3051SFA Annubar Flowmeter — **Rosemount Inc.**

CONFIGURATION DATA SHEET (Required with order)

Customer:
Model No: 3051SFADG240ZCHPS3T100032AA1A3QC7Q8J6Q4E1DA1A1003
Line Item:
P.O.#:

Output Information: (Software Selectable)

Pressure Units = kPa
Range Points:
4mA = 0.000
20mA = 61
Output = Linear (Default = Linear)
Temp. Units = Deg C (Default = Deg C)
Damping = 0.40 (0-60 sec., Default = 0.4 sec.)

Tagging Information:

Hardware Tag (Permanent):
Hardware Tag (Wired):
Standard Software Tag:

Transmitter Information:

Descriptor: (16 characters maximum)
Message: (32 characters maximum)
Date: (Default is date of calibration (dd/mmm/yy)

Meter Information:

Meter Indicator: 3051S None

Signal Selection:

X — 4-20 mA with simultaneous digital signal based on HART protocol (Default)
Burst mode of HART digital process variable
Burst mode output options: (choose only one)
Primary variable (Default)
Primary variable in percent of range and mA
All dynamic variables in engineering units
All dynamic variables in engineering units and the primary variable mA value
Multidrop Communicaton (Default address = 1) — Transmitter address (1-15): 0 (Default address = 0 when Multidrop is NOT selected)

Security Information:

Write Protect (On/Off): Off (Default = OFF)
Local Zero and Span: Enabled (Default = ENABLED)

Analog Output Alarm and Saturation Signal Levels:

Custom:
Low Alarm: (<= 3.60 mA) — Low Saturation: (3.70 mA)
High Alarm: (>= 20.20 mA) — High Saturation: (20.10 mA)

NOTE: For Custom values: (Low Alarm value must be between 3.8 and 3.6. Low Saturation value must be between 3.9 and 3.7. Low Alarm must be 0.1mA lower than the Low Saturation value. High Alarm value must be between 20.2 and 23.0. High Saturation value must be between 20 1 and 21.5. High Alarm must be at least 0.1mA higher than the High Saturation value).

FOR REFERENCE ONLY:
Alarm Values: Values (mA) the transmitter outputs if it detects a gross malfunction condition.
Saturation Values: Values (mA) the transmitter output saturates if applied pressure goes outside the 4-20 mA range.
Standard: Low Alarm: (<=3.75 mA) High Alarm: (>=21.75 mA) Low Saturation: (3.9 mA) High Saturation: (20.8 mA) (Default selection)
NAMUR NE43: Low Alarm: (<=3.6 mA) High Alarm: (>=22.5 mA) Low Saturation: (3.8 mA) High Saturation: (20.5 mA)

Process Variable Assignments: (Model 275 displays as the Process Variable)

Primary Variable = низкотемпературное исполнение (д (Default = Scaled Variable)
Secondary Variable = (Default = Measured Pressure)
Tertiary Variable = (Default = Device Temperature)

Scaled Pressure Output Information:

Transfer Function = Square Root (Default = Sq. Root)
Scaled Units = M3/M (5 char max)

Linear Scaled Variable (with Linear option only):

Low pressure value = 9999999 (Pressure Units)
High pressure value = 9999999 (Pressure Units)
Low scaled value = 9999999 (Scaled Units)
High scaled value = 9999999 (Scaled Units)
Linear Offset = 9999999 (Pressure Units)

Square Root Scaled Variable (with Square Root option only):

Low pressure value = 0 (Pressure Units)
High pressure value = 61 (Pressure Units)
Low scaled value = 0 (Scaled Units)
High scaled value = 32000 (Scaled Units)
Low Flow Cut On / Off: On (Default = Off)
Value = 2133.33 (Scaled Units)

Range Values (used when scaled variable is set to primary variable):

LRV = 0 (Scaled Unit) (7 char max)
URV = 32000 (Scaled Unit) (7 char max)

Version: 3.0 (Build155F)

Process Alert Setpoints:

Process Alert Setpoints are values set by the user where the transmitter outputs a HART message and meter display information when the applied pressure or temperature goes outside the designed range. The pressure values are limited to the range of the transmitter.

Pressure Process Alert (HART signal only): Alert On/Off : Off (Default = Off) — Low Alert = — High Alert =
Note: LRL =< Low Alert value =< High Alert value =< URL

Temperature Process Alert (HART signal only): Alert On/Off : Off (Default = Off) — Low Alert = — High Alert =
Note: -40 deg C =< Low Alert value =< ** High Alert value =< 85 deg C
** must have a 5 deg C difference

Primary Element Info:

Model No: 3051SFADG240ZCHPS3T100032AA1A3QC7Q8J6Q4E1DA1A1003
Product Type: Pak-Lok

Calibrated Range:

Model 3051SFA Annubar Flowmeter — Rosemount Inc.

CONFIGURATION DATA SHEET (Required with order)

Input Data:

Fluid Type:	gas		Fluid Description:	NG_0.682 kg/Nm3	
Operating Pressure:	48	bar-a	Base Pressure:	101.325	kPa-a
Operating Temperature:	10	C	Base Temperature:	20	C
Absolute Viscosity:	0.010268	cP	Base Compressibility:	0.998044	
Isentropic Exponent:	1.3		Base Density:	0.682	kg/m3
Operating Compressibility:	0.897236		Atmospheric Pressure:	100	kPa-a
Operating Density:	37.207038	kg/m3			
Max Pressure @ Design Temperature:	100.284501	bar-a	@	20	C
Max Temperature:	260	C			

	Flow Rates		Temperatures			Pressures	
Minimum:	650.000	Sm3/min	-5.00	C	40.000	bar-a	
Normal:	10000.000	Sm3/min	10.00	C	48.000	bar-a	
Maximum:	30000.000	Sm3/min	20.00	C	51.000	bar-a	
Full Scale/Design:	32000.000	Sm3/min	20.00	C	52.000	bar-a	

Spool Length:
ODS:

Pipe Information:

Line Size/Schedule: 24 дюйма (600 мм) — No Defaults
OR 610.000 mm — Measured I D
Горизонтальная

Wall Thickness: 10.000 mm
(recommended for Annubar - required for manufacture)

Materials of Construction

Pipe Material:	Carbon Steel
Primary Element Material:	316 Stainless Steel

Calculated Data: (Calculation Performed at Normal Conditions)

Generated DP:		Permanent Pressure Loss:	
at Min Flow:	0.025162 kPa		
at Normal Flow:	5.956 kPa	at Normal Flow:	0.611 kPa
at Max Flow:	53.60035 kPa	at Maximum Flow:	5.499 kPa
at Full Scale Flow:	60.985 kPa		
Minimum Accurate (Flow):	646.234 Sm3/min	Rod Reynolds Number (Normal):	1862221
Structural Limit (DP):	101.488 kPa	Pipe Reynolds Number (Full Scale):	73949799
Structural Limit (Flow):	41280.562 Sm3/min	Flow Coefficient:	0.5845
Velocity at Max Flow:	102.916 ft/sec	K Factor:	
		Thermal Expansion Factor:	
		Gas Expansion Factor:	

Natural Gas Worksheet

Detail Characterization Method (AGA8 1992)

		Mole		Valid Range
CH4	Methane mole %		%	0-100 percent
N2	Nitrogen mole %		%	0-100 percent
CO2	Carbon Dioxide mole %		%	0-100 percent
C2H6	Ethane mole %		%	0-100 percent
C3H8	Propane mole %		%	0-12 percent
H2O	Water mole %		%	0-Dew Point
H2S	Hydrogen Sulfide mole %		%	0-100 percent
H2	Hydrogen mole %		%	0-100 percent
CO	Carbon Monoxide mole %		%	0-3.0 percent
O2	Oxygen mole %		%	0-21 percent
C4H10	I-Butane mole %		%	0-6 percent (1)
C4H10	n-Butane mole %		%	0-6 percent (1)
C5H12	I-Pentane mole %		%	0-4 percent (2)
C5H12	n-Pentane mole %		%	0-4 percent (2)
C8H18	Hexane mole %		%	0-Dew Point
C7H18	n-Heptane mole %		%	0-Dew Point
C8H18	n-Octane mole %		%	0-Dew Point
C9H20	n-Nonane mole %		%	0-Dew Point
C10H22	n-Decane mole %		%	0-Dew Point
He	Helium mole %		%	0-3.0 percent
Ar	Argon mole %		%	0-1.0 percent

(1) The summation if I-Butane and n-Butane cannot exceed 6 percent
(2) The summation of I-Pentane and n-Pentane cannot exceed 4 percent

Gross Characterization Method, Option 1 (AGA8 Gr-Hv-CO2)			Valid Range
Specific Gravity @ 14.73 psia and 60 F			0.554-0.87
Volumetric Gross Heating Value @			
Base Conditions			BTU/SCF 477 - 1150 BTU/SCF
Carbon Dioxide mole %		%	0-30 percent
Hydrogen mole %		%	0-10 percent
Carbon Monoxide mole %		%	0-3 percent

Gross Characterization Method, Option 2 (AGA8 Gr-CO2-N2)			Valid Range
Specific Gravity @ 14.73 psia and 60 F			0.554-0.87
Carbon Dioxide mole %		%	0-30 percent
Nitrogen mole %		%	0-50 percent
Hydrogen mole %		%	0-10 percent
Carbon Monoxide mole %		%	0-3 percent

For Rosemount Internal Use Only

Sales Order: ____ Line Item#: ____ Unit ID #: ____
Cont. Admin.: ____ Salesperson: ____

NOTES:

WARNINGS:

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

Е.1 Пример расчета расхода природного газа для трубки ANNUBAR

Исходные данные и расчет расхода природного газа приведены в таблицах Е.1.1 - Е.1.2.

Т а б л и ц а Е.1.1 - Исходные данные

Наименование величины	Условное обозначение	Единица величины	Значение
Трубка ANNUBAR	ANNUBAR 485 Типоразмер 1		
Ширина трубки ANNUBAR	d_{20}	м	0,014986
Внутренний диаметр ИТ	D_{20}	м	0,203
Материал, из которого изготовлена трубка ANNUBAR	Нержавеющая сталь 316		
Материал, из которого изготовлен ИТ	сталь 20		
Плотность природного газа при стандартных условиях	ρ_c	кг/м^3	0,72
Молярная доля азота	x_a	%	2,1
Молярная доля диоксида углерода	x_y	%	0,7
Метод расчета коэффициента сжимаемости	Nx-19мод. (по ГОСТ 30319.2)		
Перепад давления на трубке ANNUBAR	ΔP	Па	1500
Избыточное давление природного газа	P_a	Па	210000
Барометрическое давление	$P_Б$	Па	99500
Температура природного газа	t	°С	5

Т а б л и ц а Е.1.2 - Расчет расхода среды

Рассчитываемые величины	Условное обозначение	Единица величины	Обозначение стандарта и номер формулы или пункта	Значение
Коэффициент, учитывающий изменение ширины трубки ANNUBAR, вызванное отклонением температуры природного газа от 20 °С	K_O	-	формула (В.5)	0,99977
Ширина трубки ANNUBAR при рабочей температуре	d	м	формула (В.5)	0,014983
Коэффициент, учитывающий изменение диаметра ИТ, вызванное отклонением температуры природного газа от 20 °С	K_T		формула (В.2)	0,99983
Внутренний диаметр ИТ при рабочей температуре	D	м	формула (В.2)	0,202966
Степень перекрытия поперечного сечения измерительного трубопровода	B	-	формула (3.3)	0,093988
Абсолютное давление природного газа	P	Па	формула (6.1)	309500
Термодинамическая температура природного газа	T	К	формула (6.4)	278,15
Коэффициент сжимаемости природного газа	K	-	ГОСТ 30319.1 [формула (7)]	0,994575
Плотность природного газа	ρ	кг/м^3	ГОСТ 30319.1 [формула (6)]	2,330504
Показатель адиабаты природного газа	κ	-	ГОСТ 30319.1 [формула (28)]	1,30186

Т а б л и ц а Е.1.2 - Расчет расхода среды (продолжение)

Рассчитываемые величины	Условное обозначение	Единица величины	Обозначение стандарта и номер формулы или пункта	Значение
Коэффициент расширения	ε	-	формула (5.10)	0,99939
Коэффициент расхода трубки ANNUBAR	α	-	формула (Б.3)	0,59260
Объемный расход природного газа, приведенный к стандартным условиям	q_c	$м^3/с$	формула (5.9)	2,22529
Динамическая вязкость природного газа	μ	Па·с	ГОСТ 30319.1 [формула (45)]	$10{,}46 \cdot 10^{-6}$
Число Рейнольдса	Re_{rod}	-	формула (3.1)	70896

Е.2 Пример расчета расхода перегретого пара для трубки ANNUBAR

Исходные данные и расчет расхода перегретого пара приведены в таблицах Е.2.1 - Е.2.2.

Т а б л и ц а Е.2.1 - Исходные данные

Наименование величины	Условное обозначение	Единица величины	Значение
Трубка ANNUBAR	ANNUBAR 485 Типоразмер 2		
Ширина трубки ANNUBAR	d_{20}	м	0,026924
Внутренний диаметр ИТ	D_{20}	м	0,507
Материал, из которого изготовлена трубка ANNUBAR	Нержавеющая сталь 304		
Материал, из которого изготовлен ИТ	сталь 20		
Перепад давления на трубке ANNUBAR	ΔP	Па	2500
Абсолютное давление перегретого пара	P	Па	700000
Температура перегретого пара	t	°С	250

Т а б л и ц а Е.2.2 - Расчет расхода среды

Рассчитываемые величины	Условное обозначение	Единица величины	Обозначение стандарта и номер формулы или пункта	Значение
Коэффициент, учитывающий изменение ширины трубки ANNUBAR, вызванное отклонением температуры природного газа от 20 °С	K_O	-	формула (В.5)	1,003876
Ширина трубки ANNUBAR при рабочей температуре	d	м	формула (В.5)	0,027028
Коэффициент, учитывающий изменение диаметра ИТ, вызванное отклонением температуры природного газа от 20 °С	K_T		формула (В.2)	1,002947
Внутренний диаметр ИТ при рабочей температуре	D	м	формула (В.2)	0,508494
Степень перекрытия поперечного сечения измерительного трубопровода	B	-	формула (3.3)	0.067677
Плотность перегретого пара	ρ	кг/м^3	ГСССД МР 147	2.97294
Показатель адиабаты перегретого пара	κ	-	ГСССД МР 147	1.30226
Коэффициент расширения	ε	-	формула (5.10)	0.99951
Коэффициент расхода трубки ANNUBAR	α	-	формула (Б.3)	0,60684
Массовый расход перегретого пара	q_m	кг/с	формула (5.3)	15,01751
Динамическая вязкость перегретого пара	μ	Па·с	ГСССД МР 147	$18.103 \cdot 10^{-6}$
Число Рейнольдса	Re_{rod}	-	формула (3.1)	110407

Научное издание

Государственная система обеспечения единства измерений

РАСХОД И КОЛИЧЕСТВО ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ОСРЕДНЯЮЩИХ НАПОРНЫХ ТРУБОК “ANNUBAR DIAMOND II+”, “ANNUBAR 285”, “ANNUBAR 485”, “ANNUBAR 585” ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

МИ 2667 - 2011

Подписано в печать 25.11.2011 г. Формат 145х205.
Тираж 200 экз. Заказ 2511/2011
Издательство АНО «РСК-Консалтинг»
119361, г. Москва, ул. Озёрная, 46; gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru