

Федеральное государственное унитарное предприятие  
"Всероссийский научно-исследовательский институт  
метрологии им. Д.И. Менделеева"

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора ФГУП  
«ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»



Е.П. Кривцов

«26» октября 2017 г.

Методика измерений  
рабочего и стандартного объема природного газа комплексами для  
измерений количества газа «ULTRAMAG»

№ 2550-53-2017

Аттестована  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»  
Свидетельство № 9 АКА-(РА.RU.310494)-2017  
От «26» октября 2017 г

Санкт-Петербург  
2017

РАЗРАБОТАНА ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

УТВЕРЖДЕНА ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»  
« 25 » октября 2017 г.

АТТЕСТОВАНА «ФГУП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»  
« 26 » октября 2017 г

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр
1. Назначение и область применения .....	4
2. Условные обозначения .....	4
3. Методы измерений .....	4
4. Средства измерений. Требования к их монтажу Диапазоны и погрешности измерений .....	5
5. Требования к квалификации персонала .....	6
6. Требования безопасности и охраны окружающей среды .....	6
7. Условия выполнения измерений .....	7
8. Подготовка к измерениям и их проведение .....	7
9. Обработка результатов измерений .....	7
10. Контроль точности результатов измерений .....	7
11. Оформление результатов измерений .....	8
Приложение А. Бюджет неопределенности результатов измерений .....	9
Приложение Б. Перечень нормативных документов, используемых при разработке методики измерений .....	11

## 1 Назначение и область применения

Настоящий документ устанавливает методику измерений рабочего и стандартного объема природного газа (приведенного к стандартным условиям) комплексами для измерений количества газа «ULTRAMAG»  
Методика измерений разработана в соответствии с требованиями ГОСТ 8.611-2013, ГОСТ Р 8.563-2009, ГОСТ Р 8.741-2011.

Примечание – при пользовании настоящей инструкцией целесообразно проверить действие ссылочных стандартов по соответствующим указателям. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящей инструкцией следует руководствоваться замененным (измененным) стандартом. Если документ отменен без замены, по положению, в котором дана ссылка на него, применяется в части не затрагивающей эту ссылку

## 2. Условные обозначения.

$q$  - объемный расход газа при рабочих условиях, м<sup>3</sup>/ч,  
 $p$  и  $p_c$  – давление газа в рабочих и стандартных условиях, соответственно, МПа,  
 $T$  и  $T_c$  - температура газа в рабочих и стандартных условиях, соответственно, К,  
 $K$  - коэффициент сжимаемости газа, безразмерный  
 $\tau_n$  и  $\tau_k$  – начало и окончание интервала времени измерений,  
стандартные условия:  $p_c = 0,101325$  МПа,  $T_c = 293,15$  К.

## 3. Методы измерений.

Уравнения для расчета объема газа, приведенного к стандартным условиям при непрерывном процессе измерений объема (расхода), давления и температуры газа имеет вид:

$$V_c = \int_{\tau_n}^{\tau_k} q \frac{p T_c}{p_c T K} d\tau, \quad (3.1)$$

где  $\tau_n$  и  $\tau_k$  – начало и окончание интервала времени измерения 1.1.3.

При дискретном процессе измерений параметров газа, с учетом формул (3.1) уравнение имеет вид:

$$V_c = \sum_{i=1}^n \left( \Delta V_i \cdot \frac{T_c P_i}{P_c T_i K_i} \right), \quad (3.2)$$

где  $\Delta V_i$  - объем газа за интервал времени осреднения параметров газа;  
 $n$  – количество интервалов осреднения.

На комплексе использованы методы расчета коэффициента сжимаемости:  
- природного газа по ГОСТ 30319.2-2015, ГОСТ 30319.3-2015, AGA-8 (международный стандарт ISO 20765-1:2005);  
- свободного нефтяного газа, азота, воздуха, углекислого газа, инертных газов с использованием данных ГСССД.

Измерительно-вычислительный блок (ИВБ), входящим в состав СИ, предназначен для измерения температуры, давления и полного состава газа (необходимого для расчета коэффициента сжимаемости), объем газа при стандартных условиях автоматически рассчитывается по формулам (3.1) или (3.2). Значения объема газа при рабочих условиях, давления, температуры и объемных или молярных долей компонентов газа поступают в вычислитель в реальном масштабе времени.

Значения объема при рабочих условиях, давления, температуры, а также плотности газа при стандартных условиях поступают в вычислитель в реальном масштабе времени, а значения молярных или объемных долей диоксида углерода и азота (необходимых для расчета коэффициента сжимаемости) принимаются условно-постоянными величинами, которые периодически корректируются на основе результатов анализа состава газа.

#### **4. Средства измерений. Требования к их монтажу Диапазоны и погрешности измерений**

В качестве средства измерений количества газа используется комплекс «UTRAMAG» (№ 58524-14 по Госреестру СИ РФ).

Комплексы для измерения количества газа «ULTRAMAG» предназначены для измерения рабочего объема природного газа по ГОСТ 5542-2014, свободного нефтяного газа по ГОСТ Р 8.615-2000, других газов и автоматического приведения измеренного объема газа к стандартным условиям в зависимости от давления, температуры и коэффициента сжимаемости газа.

Принцип действия комплекса основан на измерении рабочего объема газа ультразвуковым преобразователем расхода, рабочего давления и рабочей температуры газа - преобразователями давления и температуры и вычисления по измеренным значениям объема газа, приведенного к стандартным условиям ( $P_c=0,101325$  МПа,  $T_c=293,15$  К).

В состав комплекса входят:

- измерительно-вычислительный блок (ИВБ) с дисплеем, клавиатурой, автономным источником питания;
- ультразвуковой преобразователь рабочего расхода (УЗПР);
- преобразователь абсолютного (избыточного) давления (ПД);
- преобразователь температуры газа (ПТ).

Измерительно-вычислительный блок (ИВБ) представляет собой микроЭВМ, выполненный на базе современной микропроцессорной технологии, позволяющей производить с высокой точностью измерение требуемых параметров, проведение вычислений, а также хранение и вывод информации на внешние устройства. Внутри корпуса ИВБ помещены плата вычислителя стандартного расхода, плата УЗПР и автономный источник питания.

УЗПР, применяемый на комплексе полностью соответствует всем требованиям ГОСТ 8.611-2013, в частности конструктива по пункту 1,2 ( электроакустические преобразователи установлены в корпусе УЗПР) и принципа метода измерений по пункту 6.1.

На комплексе реализован ультразвуковой импульсный метод измерения рабочего расхода газа. Принцип действия УЗПР основан на измерении разницы времени прохождения ультразвуковых колебаний в прямом и обратном направлении (относительно потока газа). Ультразвуковые колебания генерируются и принимаются электроакустическими преобразователями (далее – ПЭА). Время распространения ультразвуковых колебаний зависит от скорости ультразвука в газе и скорости потока газа. Полученные с ПЭА электрические сигналы обрабатываются микропроцессором и вычисляется рабочий объем.

Границы относительных погрешностей по канала измерений (соответствуют погрешностям измерений комплекса «UTRAMAG») приведены в Таблице 1

Таблица 1.

Наименование параметра	Значение параметра
Границы относительной погрешности канала измерений объема газа при температуре окружающей среды от минус 40°C до плюс 60°C, %	
- вариант 1 в диапазоне расходов от $Q_{min}$ до $0,05Q_{max}$ .	$\pm 1,7$
в диапазоне расходов от $0,05Q_{max}$ до $Q_{max}$	$\pm 0,75$
- вариант 2 в диапазоне расходов от $Q_{min}$ до $0,05Q_{max}$	$\pm 2$
в диапазоне расходов от $0,05Q_{max}$ до $Q_{max}$	$\pm 1$
- вариант 3* в диапазоне расходов от $Q_{min}$ до $0,05 Q_{max}$	$\pm 1,2$
в диапазоне расходов от $0,05Q_{max}$ до $Q_{max}$	$\pm 0,75$
Границы относительной погрешности канала измерения давления в рабочем диапазоне измерения давления и при температуре окружающей среды от минус 40°C до плюс 60°C, %	$\pm 0,4$
Границы относительной погрешности канала измерения температуры газа при температуре окружающей среды от минус 40°C до плюс 60°C, %	$\pm 0,1$
Границы относительной погрешности определения коэффициента коррекции, %	$\pm 0,5$
Границы относительной погрешности канала измерения объема газа, приведенной к стандартным условиям по ГОСТ 2939 в рабочем диапазоне измерения давления и при температуре окружающей среды от минус 40°C до плюс 60°C, %	
- вариант 1 в диапазоне расходов от $Q_{min}$ до $0,05Q_{max}$	$\pm 2$
в диапазоне расходов от $0,05Q_{max}$ до $Q_{max}$	$\pm 1$
- вариант 2 в диапазоне расходов от $Q_{min}$ до $0,05Q_{max}$	$\pm 2,3$
в диапазоне расходов от $0,05Q_{max}$ до $Q_{max}$	$\pm 1,3$
- вариант 3 в диапазоне расходов от $Q_{min}$ до $0,05Q_{max}$	$\pm 1,5$
в диапазоне расходов от $0,05Q_{max}$ до $Q_{max}$	$\pm 1$

Основное требование к монтажу.: длина прямых участков трубопровода  $DN^{\wedge}$  на входе в комплекс 5 DN, на выходе из комплекса 3 DN.

## 5. Требования к квалификации персонала

К монтажу комплекса «ULTRAMAG» и выполнению измерений допускаются специалисты, знающие принцип измерений и содержание данной МИ и ее приложений, специально обученные работе с приборами, изучившие техническую документацию на комплекс «ULTRAMAG» и имеющие III квалификационную группу по электробезопасности.

## 6. Требования безопасности и охраны окружающей среды

6.1 При работе с комплексом «ULTRAMAG» необходимо соблюдать межотраслевыми

правилами по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок ПОТ Р М-016 РД 153-34.0-03.150-2000 (с изменениями 2003 г.)

6.2 Меры безопасности при работе с составными частями комплекса «ULTRAMAG» должны соответствовать указаниям, приведенным в эксплуатационной документации на конкретное изделие.

6.3 Комплекс «ULTRAMAG» при испытании, хранении, транспортировании, эксплуатации и утилизации не оказывает вреда окружающей природной среде и здоровью человека.

## **7. Условия выполнения измерений**

7.1. Условия применения СИ должны соответствовать требованиям предприятия-изготовителя к следующим параметрам и характеристикам, указанных в технической документации на комплексы:

- климатические условия эксплуатации;
- рабочие условия эксплуатации (давление, температура и расход движущихся сред);
- допустимые напряженности постоянных и переменных магнитных полей;
- допустимый уровень вибраций трубопровода;
- характеристики энергоснабжения.

7.2. Диапазоны измерений СИ., входящих в состав системы, должны соответствовать диапазонам изменения контролируемых параметров. Максимальные и минимальные значения измеряемых параметров должны перекрываться диапазонами СИ.

7.3. Все СИ должны соответствовать требованиям действующих нормативных документов по безопасности применения этих средств.

## **8. Подготовка к измерениям и их проведение**

8.1. Перед измерениями проверяют соответствие условий проведения измерений требованиям раздела 7.

8.2. Все СИ приводят в рабочее состояние. При применении вычислительного устройства в его память вводят необходимую информацию о параметрах и характеристиках СИ, а также о физических параметрах протекающих сред.

8.3. Перед проведением измерений проверяют герметичность соединений всех узлов и соединений и затем производят измерения количества движущихся сред.

## **9. Обработка результатов измерений**

Обработка результатов измерений производится автоматически с помощью измерительно-вычислительного блока (ИВБ), на вход которого поступают сигналы от всех применяемых СИ. Контроллер имеет защиту от несанкционированного вмешательства в его работу.

## **10. Контроль точности результатов измерений**

10.1. Средства измерений, входящие в состав комплекса, подлежат поверке юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений в соответствии с порядком, установленном Приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 02.07.2015 № 1815.

10.2. Осуществляют контроль параметров введенных в измерительно-вычислительный блок комплекса «ULTRAMAG»

10.3. Расчет относительной погрешности и расширенной неопределенности измерений объемного расхода и объема газа приведенных к стандартным условиям проводят в соответствии с ГОСТ 30319.2-2015, ГОСТ 30319.3-2015, AGA-8 (международный стандарт ISO 20765-1:2005), ГСССД, ГОСТ 31370-2008 и ГОСТ 31371.1-2008 (см. Приложение А).

## **11. Оформление результатов измерений**

11.1 Комплекс формирует:

- часовой архив глубиной не более 16000 записей (часов);
- суточный архив глубиной не более 1800 записей (суток);
- месячный архив глубиной не более 2300 записей (месяцев);
- архивы нештатных ситуаций не более 4000 записей;
- архивы изменений не более 2900 записей.

11.2. Оформление и движение акта приема-сдачи продукта проводят в порядке, установленном соглашениями между Сдающей и Принимающей сторонами.

11.3. Все вмешательства оператора в работу СИ должны регистрироваться в оперативном журнале с составлением актов.



Бюджет неопределенности результатов измерений.

1. Общие положения.

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

2. Уравнения измерения расхода и количества среды.

Уравнение измерений объема газа, приведенного к стандартным условиям при непрерывном процессе измерений объема (расхода), давления и температуры газа имеет вид:

$$V_c = \int_{\tau_n}^{\tau_k} q \frac{p T_c}{p_c T K} d\tau,$$

где:

q - объемный расход газа при рабочих условиях, м<sup>3</sup>/ч,  
 p и p<sub>c</sub> – давление газа в рабочих и стандартных условиях, соответственно, МПа,  
 T и T<sub>c</sub> - температура газа в рабочих и стандартных условиях, соответственно, К,  
 K - коэффициент сжимаемости газа, безразмерный  
 τ<sub>n</sub> и τ<sub>k</sub> – начало и окончание интервала времени измерений,  
 стандартные условия: p<sub>c</sub> = 0,101325 МПа, T<sub>c</sub> = 293,15 К.

3. Формулы для расчета неопределенности расхода среды

3.1. Неопределенность при измерениях объемного расхода газа, приведенного к стандартным условиям, рассчитывают по формулам:

$$u_{qc} = (u_q^2 + u_p^2 + u_T^2 + u_K^2 + u_v^2)^{0,5}$$

где:

u<sub>q</sub> - неопределенность при измерениях объемного расхода газа в рабочих условиях,  
 u<sub>p</sub> - неопределенность при измерениях давления газа,  
 u<sub>T</sub> - неопределенность при измерениях температуры газа,  
 u<sub>K</sub> – неопределенность определения коэффициента сжимаемости газа,  
 u<sub>v</sub> – неопределенность вычислителя.

3.2. Неопределенность коэффициента сжимаемости: рассчитывается

- для природного газа по ГОСТ 30319.2-2015, ГОСТ 30319.3-2015, AGA-8 (международный стандарт ISO 20765-1:2005);

- для свободного нефтяного газа, азота, воздуха, углекислого газа, инертных газов с использованием данных ГСССД.

Ниже приведен расчет неопределенности коэффициента сжимаемости газа по ГОСТ 30319.2-2015 при известном компонентном составе, который определяется по ГОСТ 31371.1-2008.

$$u_K = (u_m^2 + u_{zug}^2)^{0,5},$$

где u<sub>m</sub> – неопределенность метода расчета коэффициента сжимаемости,

$u_{zig}$  - неопределенность расчета коэффициента сжимаемости, которая появляется дополнительно в связи с погрешностью измерений давления, температуры и молярных долей азота и диоксида углерода.

При дальнейших расчетах ограничимся неопределенностью  $u_m$

Расчет относительной расширенной неопределенности результата измерений расхода и объема природного газа, приведенного к стандартным условиям представлен в таблице 1А.

Таблица 1А

Вариант исполнения комплекса	Диапазон расхода Q	$u_q, \%$	$u_p, \%$	$u_T, \%$	$u_K, \%$	$u_B, \%$	$u_{qs}, \%$
1	от $Q_{min}$ до $0,05Q_{max}$	$\pm 1,7$	$\pm 0,4$	$\pm 0,1$	$\pm 0,07$	$\pm 0,5$	1,8
	$0,05Q_{max}$ до $Q_{max}$	$\pm 0,75$	$\pm 0,4$	$\pm 0,1$	$\pm 0,02$	$\pm 0,5$	1,0
2	от $Q_{min}$ до $0,05Q_{max}$	$\pm 2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,1$	$\pm 0,07$	$\pm 0,5$	2,0
	$0,05Q_{max}$ до $Q_{max}$	$\pm 1$	$\pm 0,4$	$\pm 0,1$	$\pm 0,02$	$\pm 0,5$	1,2
3	от $Q_{min}$ до $0,05Q_{max}$	$\pm 1,2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,1$	$\pm 0,07$	$\pm 0,5$	1,4
	$0,05Q_{max}$ до $Q_{max}$	$\pm 0,75$	$\pm 0,4$	$\pm 0,1$	$\pm 0,02$	$\pm 0,5$	1,0

Таким образом, относительная расширенная неопределенность измерений расхода и объема природного газа, приведенных к стандартным условиям, находится в диапазоне от (1,0 -2,0) %

Перечень нормативных документов, используемых при разработке методики измерений

- (1) ГОСТ 8.417-2002 ГСИ. Единицы физических величин.
- (2) ГОСТ Р 8.563-2009 ГСИ. Методики (методы) измерений.
- (3) ГОСТ 8.611-2013 ГСИ. Расход и количество газа. Методика (метод) измерений с помощью ультразвуковых преобразователей расхода.
- (4) ГОСТ Р 8.741-2011 ГСИ. Объем природного газа. Общие требования к методикам измерений.
- (5) ГОСТ 30319.2-2015. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Вычисление физических свойств на основе данных о плотности при стандартных условиях и содержании азота и диоксида углерода.
- (6) ГОСТ 30319.3-2015 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Вычисление физических свойств на основе данных о компонентном составе.
- (7) ISO 20765-1:2005 Natural gas-calculation of thermodynamic properties - Part1:Gas phase properties for transmission and distribution applications (MOD).
- (8) ГСССД Государственная служба стандартных справочных данных.
- (9) ГОСТ 31370-2008 Газ природный. Руководство по отбору проб.
- (10) ГОСТ 31371.1-2008 Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Часть 1. Руководство по проведению анализа.

Руководитель отдела эталонов и научных исследований физических процессов в воздушной и жидких средах  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Старший научный сотрудник, к.т.н.



К.В. Попов

Ю.А. Чистяков