



Акционерное общество "ПромСервис"

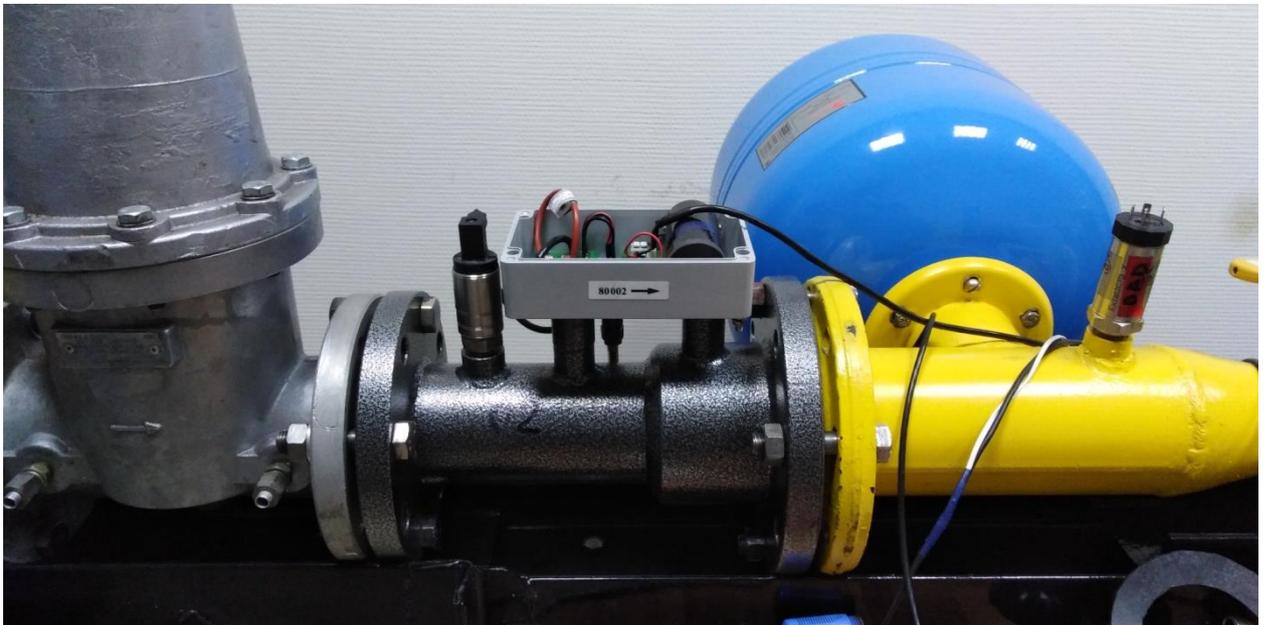
433502, РОССИЯ, Ульяновская область, г. Димитровград, ул. 50 лет Октября, 112

секретариат (84235) 4-58-32, 4-18-07, e-mail: [promservis@promservis.ru](mailto:promservis@promservis.ru), [www.promservis.ru](http://www.promservis.ru),

отдел продаж (84235) 4-22-11, 4-84-93, e-mail: [sales@promservis.ru](mailto:sales@promservis.ru), отдел закупок (84235) 4-21-22, e-mail: [supply@promservis.ru](mailto:supply@promservis.ru)

ОТЭНК (84235) 4-30-10, e-mail: [otenk@promservis.ru](mailto:otenk@promservis.ru), энергоаудит (84235) 4-30-04, АСУ (84235) 4-53-13, e-mail: [knv@promservis.ru](mailto:knv@promservis.ru)

ИНН/КПП 7302005960/730201001, ОКОНХ 95300, ОКПО 12560879, ОГРН 1027300533952



## **ИНСТРУКЦИЯ**

**по эксплуатации установки поверочной**

**УПГ600 и поверке расходомера-счетчика ПРАМЕР-210”**

**Димитровград  
2019**

## Содержание

Содержание.....	2
Перечень введенных сокращений и обозначений.....	3
1. Назначение стенда.....	4
2. Основные технические характеристики.....	5
3. Устройство стенда.....	6
3.1. Блок подготовки воздуха.....	6
3.2. Блок подключения счетчика.....	7
3.3. Блок эталонных измерений расхода.....	7
3.3.1. Эталонные сопла.....	7
3.4. Блок управления стендом.....	8
3.4.1. Коммутация клапанов.....	8
3.5. Программное обеспечение.....	8
4. Расчетное обоснование принятых технических решений.....	9
4.1. Блок подготовки воздуха.....	9
4.1.1. Компрессорная установка.....	9
4.1.2. Очистители сжатого воздуха.....	9
4.1.3. Сушитель сжатого воздуха.....	9
4.1.4. Накопительная емкость.....	10
4.1.5. Стабилизация давления.....	10
4.2. Блок подключения расходомера.....	10
4.2.1. Фильтрация воздуха.....	11
4.2.2. Стабилизация давления.....	11
4.2.3. Обеспечение испытаний на повышенных расходах.....	11
4.3. Блок эталонных измерений.....	11
4.3.1. Электромагнитный клапан.....	11
4.3.2. Эталонные критические сопла.....	11
5. Заключение.....	13
Приложение 1.....	14
Приложение 2.....	16
Приложение 3.....	19
Приложение 4.....	33
Приложение 5.....	34
Приложение 6.....	35

## **Перечень введенных сокращений и обозначений**

**Стенд** – Эталонный стенд «Пульсар»

**Счетчик** – счетчик-расходомер газа «Прамер 210Ех»

## 1 Назначение стенда

Стенд предназначен для проведения испытаний разрабатываемых в ЗАО «Промсервис» счетчиков-расходомеров газа «Прамер 210Ех».

Стенд предназначен для эксплуатации в лабораторных условиях:

- температура окружающего воздуха от 23 до 25<sup>0</sup>С;
- относительная влажность воздуха до 80%;
- атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа.

Параметры питания:

- напряжение питания КИП 220<sup>+22</sup><sub>-33</sub> В;
- напряжение питания компрессора 380<sup>+38</sup><sub>-50</sub> В;
- частота сети переменного тока 50±1 Гц.

Рабочая среда - воздух

## 2 Устройство стенда

Принципиальная схема стенда приведена в приложении (см. Приложение 1 ).

Стенд разделен на три блока:

- блок подготовки воздуха;
- блок подключения счетчика;
- блок эталонных измерителей расхода (сопла).

### 2.1 Блок подготовки воздуха

Блок подготовки воздуха обеспечивает формирование очищенного, осушенного сжатого воздуха на входе счетчика с избыточным стабилизированным давлением до 0,7 МПа.

Блок подготовки воздуха состоит из компрессорной установки, фильтров сжатого воздуха, осушителя, ресиверов и регуляторов.

Компрессор КМ1 обладает следующими характеристиками:

- производительность до 51 м<sup>3</sup>/ч в режиме непрерывной работы, при длительности непрерывной работы не больше 15 мин ;
- оснащен ресивером объемом 270 литров;
- работает в повторно-кратковременном режиме;
- поддерживает давления воздуха в ресивере в диапазоне от 0,8 до 1,0 МПа.

Из компрессорной установки сжатый воздух поступает на цепочку состоящую из фильтров Ф1, Ф2 и осушителя ОСВ. Фильтр Ф1 является фильтром центробежного типа. Фильтр Ф2 – коалесцентный. Оба фильтра оснащены ручным конденсатоотводом, осушитель отводит конденсат автоматически.

Очищенный и осушенный воздух поступает в накопительную емкость состоящую из двух ресиверов РС1 и РС2. Ресиверы объединены в одну емкость для накопления достаточного объема воздуха обеспечивающего максимальный расход.

Регулятор РК1 установлен между ресиверами РС2 и РС3 и используется для установки давления на входе испытуемого счетчика А1.

Ресиверы РС3, РС4 и РС5 буферные, они не являются проходными, входы с сечением ДУ50 ресиверов являются и выходами одновременно. В точке

соединения трубопроводов от всех трех буферных ресиверов происходит переход на рабочий диаметр трубопровода – ДУ80.

Счетчик А1 оснащен локальным прерывателем потока. Прерыватель потока счетчика вызывает пульсации давления воздуха на входе и выходе счетчика.

Регулятор РК1 и буферная емкость состоящая из ресиверов РС3, РС4 и РС5 стабилизируют давление на входе счетчика А1.

## **2.2 Блок подключения счетчика**

Блок подключения счетчика обеспечивает:

- фильтрацию сжатого воздуха на входе счетчика;
- измерение давления сжатого воздуха на входе счетчика;
- подключение одного счетчика-расходомера «Прамер 210Ех».
- буферный объем счетчика ;
- стабилизацию давления на выходе счетчика (т.е. на входе блока эталонных измерителей расхода);
- контроль режимов работы счетчика, пульсаций давления на входе и выходе счетчика с помощью аналоговых датчиков давления и осциллографа;

Для измерения температуры сжатого воздуха на входе счетчика используется термопреобразователь испытываемого счетчика .

Давление воздуха на входе счетчика контролируется посредством манометра МН5 и датчика давления ДД1.

Пульсации давления на входе счетчика оцениваются с помощью датчика давления ДД1, на выходе – ДД2.

Сжатый воздух из блока подготовки воздуха поступает на счетчик А1 через фильтр Ф3.

На выходе счетчика А1 установлена буферная камера БК1 объемом 35 литров. По мере расхода воздуха из буферной камеры БК1 клапан счетчика импульсно открывается и восполняет израсходованный воздух. Изменение давления воздуха в БК1 контролируется с помощью датчика давления ДД2 и сглаживается с помощью регуляторов давления РК2 и РК3.

Регуляторы давления РК2 и РК3, в отличие от РК1 имеют исполнение без сброса избыточного давления в атмосферу.

## **2.3 Блок эталонных измерителей расхода**

Блок эталонных измерителей обеспечивает измерение прошедшего объема газа с помощью эталонных сопел.

Для снижения пульсаций давления на входе блока эталонных измерителей используются буферные камеры РС4 и РС5, объемом 24 и 50 литров.

### **2.3.1 Эталонные сопла**

Расход воздуха через эталонные сопла задается открытием любых кранов (В6- В15) расположенных на выходах эталонных сопел.

Запускается расход открытием электромагнитного клапана К1.

Для измерения расхода газа через эталонные сопла, на их входе измеряются давление и температура преобразователями ДТ2 и ДДЗ. При вычислении расхода в качестве коэффициента сопла используется коэффициент, приведенный в свидетельстве о поверке критического сопла. Если одновременно открыто несколько сопел, в качестве коэффициента сопла используется сумма их коэффициентов.

Для обеспечения критического режима работы эталонных сопел на их входе обеспечивается абсолютное давление не менее 200 кПа.

## **2.4 Блок управления стендом**

Электронный блок управления стендом - «БУС», (приложение 2) реализован на двух контроллерах PIC18F25K22.

Первый контроллер используется в качестве преобразователя частоты (частотомера) датчика давления ДДЗ и датчика температуры ДТ2.

На втором контроллере реализована логическая часть, которая обеспечивает коммутацию датчиков: ДДЗ, ДТ2; коммутацию клапана: В16; запуск и остановку измерения по команде “GATE” счетчика «Прамер 210Ex», вывод метрологических данных стенда на ПК.

### **2.4.1 Коммутация клапана.**

Силовая коммутация клапана К1 осуществляется блоком коммутации (БКК), блок реализован на твердотельном реле К293К311АР. В качестве источника

питания клапана используются импульсный блок питания DR 4524 с номинальным напряжением 24v, током 1,5 А.

## **2.5 Программное обеспечение.**

Для проведения на стенде измерений расхода газа счетчиком-расходомером «Прамер 210Ех» с использованием эталонных сопел и эталонной камеры разработана программа «Пульсар v.2.0.4».

Программа «Пульсар v.2.0.4.2» управляет работой стенда, через «БУС» в режимах градуировки и поверки, получает, систематизирует метрологические данные от счетчика «Прамер 210Ех» и блока управления стендом.

Взаимодействие программы «Пульсар v.2.0.4» со стендом и счетчиком «Прамер 210Ех» осуществляется через два интерфейса RS-485.

### **3 Расчетное обоснование принятых технических решений**

Для обоснования принятых технических решений выполнены расчеты, приведенные ниже.

#### **3.1 Блок подготовки воздуха**

Блок подготовки воздуха обеспечивает формирование очищенного сжатого воздуха на входе счетчика с избыточным стабилизированным давлением до 0,6 МПа при максимальном рабочем расходе 100 м<sup>3</sup>/ч.

##### **3.1.1 Компрессорная установка**

На стенде используется компрессорная установка СБ4/С-270.АВ850, которая обеспечивает:

- производительность 51 м<sup>3</sup>/ч;
- поддержание избыточного давления в диапазоне от 0,8 МПа до 1,0 МПа.

Компрессор укомплектован ресивером объемом 270 литров.

##### **3.1.2 Очистители сжатого воздуха**

Используемое на стенде оборудование требует предварительной очистки сжатого воздуха. Для этого используется два фильтра: центробежный и коалесцентный.

##### **4.1.3. Осушитель сжатого воздуха.**

Наличие влаги в сжатом воздухе приводит к погрешности измерения расхода критическими соплами. Для минимизации этой погрешности производится осушение воздуха, подаваемого в измерительный участок стенда. Для осушения сжатого воздуха используется рефрижераторный осушитель COMPRAG RDX30.

##### **3.1.4 Накопительная емкость**

Для обеспечения максимальных расходов в течении ограниченного времени используется накопительная емкость. Состоит накопительная емкость из емкости компрессора 270л. и двух ресиверов РС1 и РС2 по 430 литров каждый . Общий объем составляет 1130л. Изменение давления на выходе

ресиверов от 0,7 до 1 МПа., что соответствует накопленному объему воздуха 3.3 м<sup>3</sup> при стандартных условиях.

Стабилизация давления на выходе блока подготовки воздуха обеспечивается прецизионным регулятором давления VEX 193.

Максимальный расход при входном давлении 0,7МПа равен 1380 ст. м<sup>3</sup>/ч  
Воспроизводимость 0,5%, чувствительность 0,2%.

Поверяемый счетчик обеспечивает измерение давления и температуры для приведения расхода газа к стандартным условиям. Измерение давления и температуры осуществляется синхронно с пульсациями клапана счетчика. Пульсации давления при импульсном режиме работы счетчика газа компенсируются объемом ресиверов РС3, РС4, РС5 суммарным объемом 1,5 м<sup>3</sup> и работой регулятора РК1.

## **3.2 Блок подключения расходомера**

Блок подключения счетчика обеспечивает:

- фильтрацию сжатого воздуха на входе счетчика;
- измерение давления и температуры сжатого воздуха на входе счетчика;
- стабилизацию давления на выходе счетчика (т.е. на входе блока эталонных измерителей расхода);

### **3.2.1 Фильтрация воздуха**

Фильтрация воздуха на входе блока подключения расходомера осуществляется типовым газовым фильтром ФГ-16-80.

### **3.2.2 Стабилизация давления**

Испытываемый счетчик является счетчиком импульсного типа. На выходе счетчика давление изменяется с амплитудой до 0,2 МПа с частотой пульсаций до 1 Гц.

Для сглаживания пульсаций на выходе импульсного счетчика применена цепочка из двух последовательно соединенных регуляторов РК3, РК4.

Для улучшения условий подавления пульсаций на выходе регуляторов установлены буферные объемы. Буферные объемы обеспечиваются двумя камерами с объемами РС5=24 л. и РС6=50 л.

### 3.3 Блок эталонных измерений

Блок эталонных измерителей расхода обеспечивает измерение прошедшего объема газа состоит из 10 –ти эталонных сопел;

Блок эталонных измерений расхода содержит электромагнитный клапан К1.

#### 3.3.1 Электромагнитный клапан

Управление моментами включения и выключения потока газа

**осуществляется с помощью электромагнитного клапана К1.**

Падение давления на клапане не должно превышать 30 кПа

#### 3.3.2 Эталонные критические сопла

Расход через эталонные критические сопла определяется по формуле:

$$Q_i = K_i \frac{P_c}{\sqrt{T_c}} \quad (1)$$

где  $K_i$  – коэффициенты истечения критических сопел А2-А11,

$P_c$  – абсолютное давление на входе сопла, измеряемое кварцевым датчиком давления МН10 с относительной погрешностью 0,075 % при абсолютном входном давлении 200 кПа,

$T_c$  – абсолютная температура газа на входе сопла, измеряемая кварцевым термопреобразователем ДТ2 в диапазоне температур 18-24<sup>0</sup>С с относительной погрешностью не более 0,06%.

Критические сопла откалиброваны во Всероссийском НИИ Расходомерии (ВНИИР г.Казань) с относительной погрешностью калибровки 0,25% при входном давлении 200 кПа.

Погрешность измерения расхода через эталонные критические сопла определяется по формуле:

$$\delta Q = \sqrt{\delta K^2 + \delta P_c^2 + 0,25\delta T_c^2} \quad (2)$$

Что для применяемых критических сопел составляет 0,27%.

### 3.3.3 Обеспечение испытаний на повышенных расходах Расчет запаса объема газа, обеспечиваемый ресиверами.

Суммарный объем ресиверов блока подготовки воздуха составляет  
 $270+2*430=1130$ л.

Максимальное рабочее давление в ресиверах 1,0 МПа;

Минимальное рабочее давление в ресиверах 0,7 МПа;

Минимальное падение давления на регуляторе 0,1МПа

Максимальное выходное давление блока подготовки воздуха 0,6МПа.

Запас воздуха в ресиверах при изменении давления в них на 0,3МПа (3 атмосферы) составляет  $1130*0,3/0,1=3390$  л.

#### Расчет необходимого запаса газа:

Перепад давления в буферной камере 170 кПа.

Для объема буферной камеры 38 л. максимальный объем газа, прошедший за 1 импульс, рассчитывается по формуле

$$V_{\text{имп}} = V_0 / (1 - K_{\text{max}}) = 87 \text{ л.}$$

где  $V_0=38$ л.,  $K_{\text{max}} = 0,6$

Для проведения измерений необходимо следующее минимальное число импульсов:

- Прогрев - 15 имп.

- Измерение - 10 импульсов.

Итого - 25 импульсов.

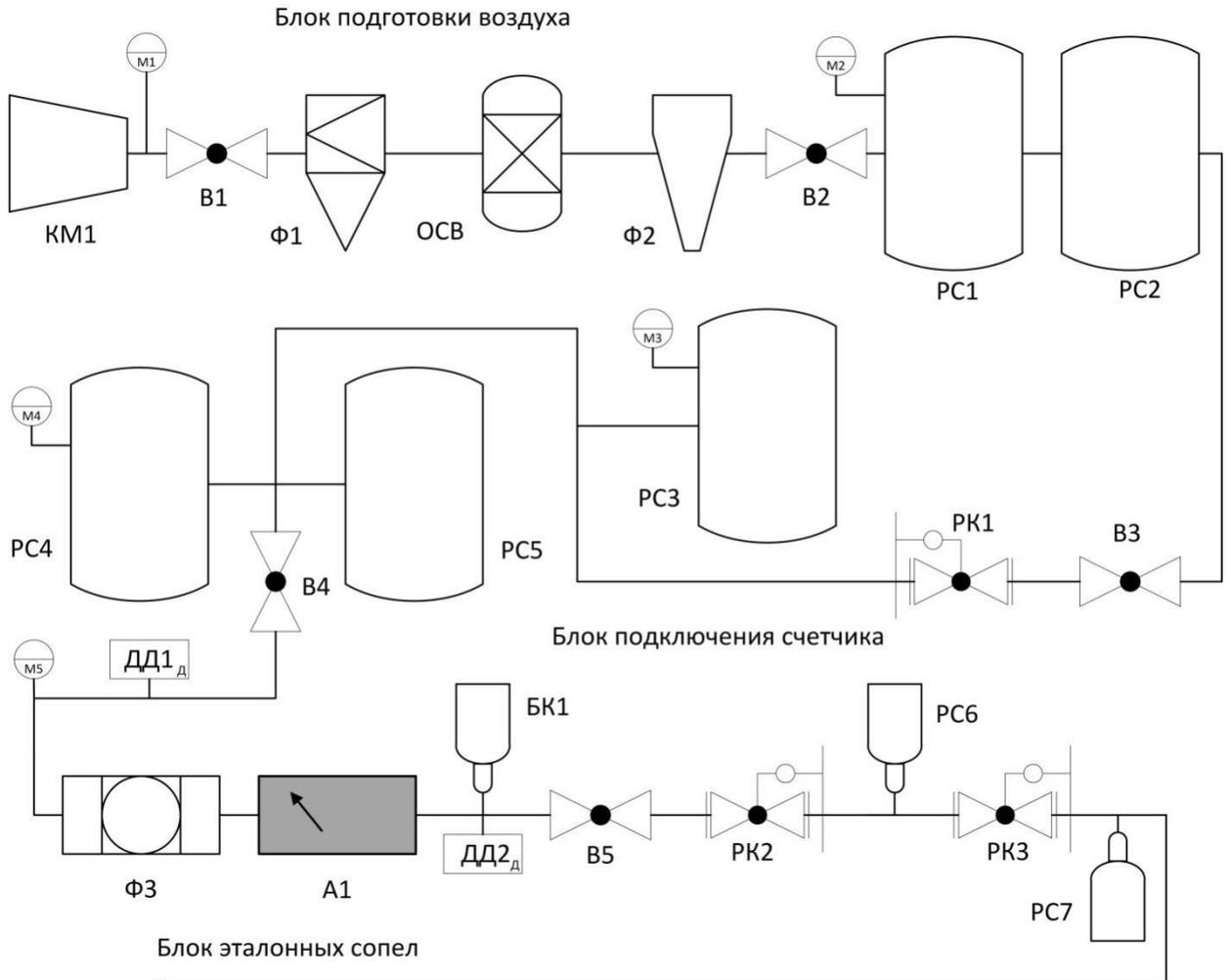
Для проведения измерений потребуется запас воздуха

$$87 \text{ л.} * 25 \text{ имп} = 2175 \text{ л.}$$

## **4 Заключение**

Эталонный газовый стенд предназначен для градуировки и поверки счетчиков-расходомеров газа «Прамер 210Ех- 600» в диапазоне 0,5 – 100 м<sup>3</sup>/ч при рабочих условиях.

Приложение 1



Ф1	Циклонный сепаратор линии сжатого воздуха OMI SA 0050
ОСВ	Осушитель сжатого воздуха Сортраг RDX30
Ф2	Фильтр сжатого воздуха OMI FD 0057
Ф3	Фильтр газа ФГ16-50
РК1	Регулятор давления VEX1933-20F
РК2	Регулятор давления РДК-50/30
РК3	Регулятор давления РДП-50В
М1	Манометр избыточного давления компрессора (16 бар)
М2	Манометр избыточного давления модели МП 100 (1,6 Мпа)
М3	Манометр избыточного давления модели VERTUM (16 бар)
М4	Манометр избыточного давления МТ-100 (1,6 Мпа)
М5	Манометр избыточного давления модели 11202 по ГОСТ 6521-72
М6	Манометр избыточного давления модели 11202 по ГОСТ 6521-72
ДД1	Датчик избыточного давления КОРУНД-ДИ
ДД2	Датчик избыточного давления 415-ДИ модель 8158
ДД3	Датчик давления Кварц 2А.52.0.1.205.06 №816
РС1	Сосуд, работающий под давлением – модель РВ 430-9/10 № 922
РС2	Сосуд, работающий под давлением – модель РВ 430-9/10 № 195
РС3	Сосуд, работающий под давлением – модель РВ 500.600-05
РС4	Сосуд, работающий под давлением – модель РВ 500.11.02
РС5	Сосуд, работающий под давлением – модель РВ 500.11.02
БК1	Буферная камера 35 л
РС6	Буферная камера стабилизации давления 24 л
РС7	Буферная камера стабилизации давления 50 л
ДТ2	Термопреобразователь частотный кварцевый ТЧК 012.1.120.0
А1	Счетчик-расходомер газа Прамер 210Ех-600
А2	Сопло 0.2
А3	Сопло 0.5
А4	Сопло 1
А5	Сопло 4
А6	Сопло 8
А7	Сопло 20
А8	Сопло 40
А9	Сопло 80
А10	Сопло 160
А11	Сопло 400
В1	Кран шаровой 1"
В2	Кран шаровой 1"
В3	Кран шаровой 1,1/4"
В4	Кран шаровой ДУ-80
В5	Кран шаровой 1"
В6	Кран шаровой 3/4"
В7	Кран шаровой 3/4"
В8	Кран шаровой 3/4"
В9	Кран шаровой 3/4"
В10	Кран шаровой 3/4"
В11	Кран шаровой 1"
В12	Кран шаровой 1"
В13	Кран шаровой 1"
В14	Кран шаровой 1"
В15	Кран шаровой 1"
В17	Кран шаровой 1"
Г1	Глушитель из поролона
К1	Клапан электромагнитный ДУ-50 ВН2Н-2

## Краткое описание Блока Управления Стендом

Общая электрическая схема подключения устройств стенда приведена на рисунке 2.

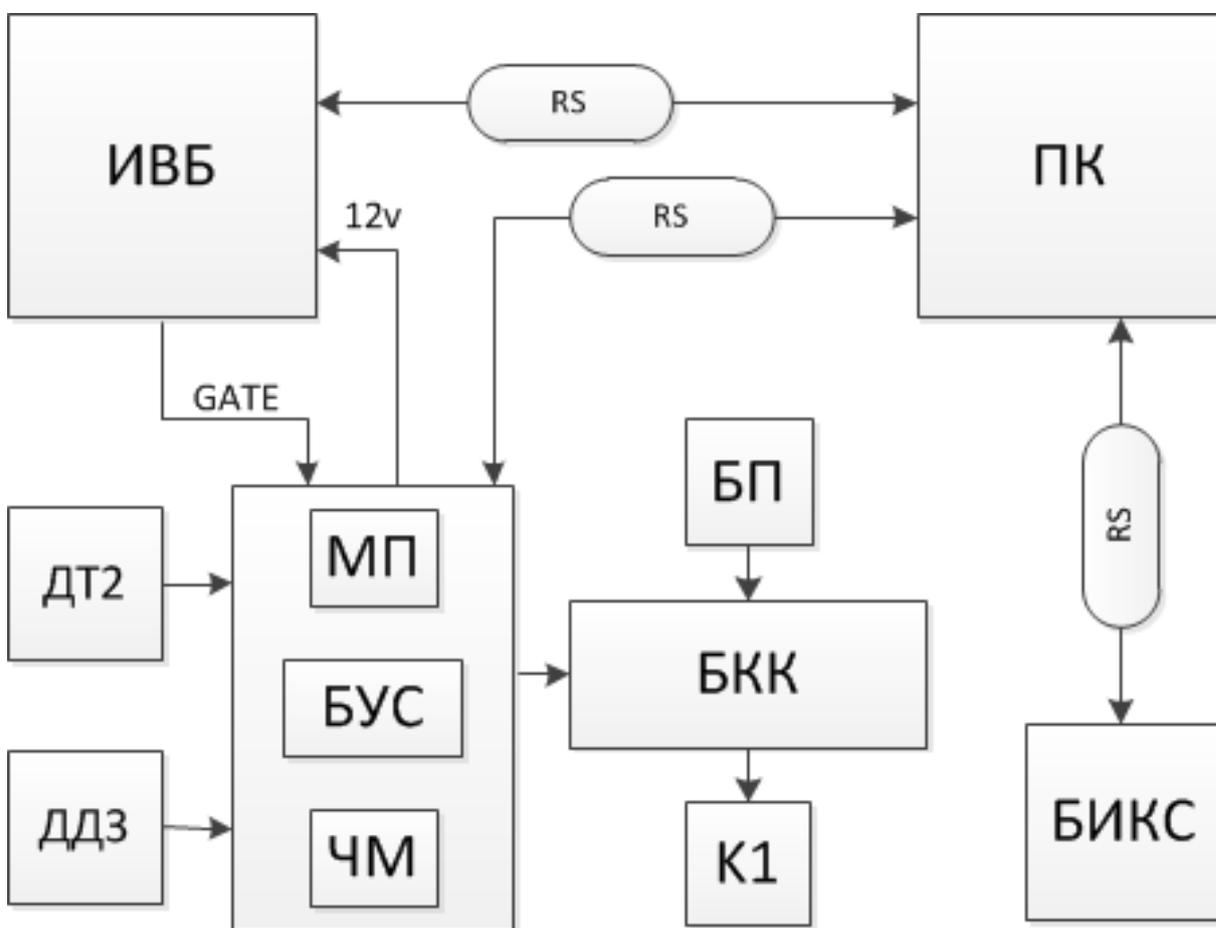


Рисунок 2

Сокращения на схеме стенда:

ИВБ	Измерительно-вычислительный блок ПРАМЕР 210.
ПК	Персональный компьютер.
БУС	Блок управления стендом.
ЧМ	Частотомер блока управления стендом
МП	Модуль питания блока управления стендом, частотомера, интерфейса RS-485 в ИВБ.
ДТ2	Датчик температуры эталонных сопел ТЧК 012.1.120.0.
ДДЗ	Датчик давления эталонных сопел.
БКК	Блок коммутации клапана
БП	Блок питания клапанов DR-4524/24V/1,5A
К1	Клапан электромагнитный ВН2Н-2 Ду50
RS	Интерфейс RS-485 EL-201-1

Принципиальные электрические схемы БУС, частотомера и Блока управления клапанами в файлах: приложение 3, приложение 4, приложение 5.

БУС представляет собой коммутатор сигналов датчиков, светодиодов индикации и клапанов.

Также БУС имеет возможность измерения длительности интервала времени «Gate».

Для коммутации сигналов кварцевых преобразователей (датчиков) с частотомером (ЧМ) используется коммутатор КП2, к нему параллельно подключен коммутатор напряжения на светодиоды, для индикации состояния БУС.

Микроконтроллер U1 БУС управляет коммутаторами, выдает управляющие напряжения на блок Управления клапанами.

Управление коммутацией осуществляется с помощью регистров `mbusCommands2.DkomDoKom` и `dкомКом`.

Коммутация напряжения управляется по интерфейсу, также используется синхронизационный сигнал «Gate».

Цифровой интерфейс БУС реализован с использованием протокола ModBus RTU. Драйвер БУС реализован в программном комплексе ПУЛЬСАР 2.5.

При поступлении сигнала открытия «Gate» БУС коммутирует сигнал кварцевого преобразователя давления на входе сопел на частотомер. При поступлении сигнала закрытия «Gate», БУС автоматически коммутирует на вход частотомера (ЧМ) сигнал преобразователя температуры. Данные коммутации позволяют при непрерывном опросе частотомера быстро определить факт переключения «Gate» и синхронизировать ПК с пульсациями счетчика с абсолютной погрешностью  $\pm 50$  мс, при условии периодичности опроса частотомера не более 50 мс.

Для измерения сигнала «Gate» используется модуль Timer5 микроконтроллера БУС. Сигнал «Gate» подводится ко входу T5G, предназначенному для управления счетом времени модуля Timer5. Таймер настроен на счет тактов кварцевого генератора X1 при условии, что на входе T5G – низкий уровень. Счет времени выполняется и управляется аппаратно, в программе осуществляется только опрос текущего показания и сброс

таймера, данные операции доступны по ModBus через регистры `mbusCommands.GateTime`, `mbusCommands.GateTimeStart`, `gateTime`.

Также БУС ведет счет импульсов счетчика (вход  $\tau$ ). Счет импульсов может сбрасываться по ModBus. Количество импульсов с последнего сброса также можно запросить по цифровому интерфейсу.

Для работы со счетчиком импульсов используются регистры `mbusCommands2.GatebukResetPulseCounter` и `gatebukPulseCount`.

Клапан К-1 (Kred) открывается автоматически при запуске расхода, и закрывается по закрытию «Gate».

### *Примечания по схеме БУС*

Инвертор U6 – используется для понижения уровня частотного сигнала кварцевых преобразователей от 12 до 5 В.

Коммутатор U3 имеет достаточно высокое сопротивление ключа в открытом состоянии, поэтому светодиоды D7-D10 подключены непосредственно на выход коммутатора.

Светодиод-индикатор D1 низкого уровня «Gate» подключен через инвертор U4.

Резисторы R6, R7 и R8 подключены согласно паспортов используемых кварцевых преобразователей.

Аппаратная часть БУС и Блока Коммутации Клапанов обеспечивает управление тремя клапанами, в настоящей версии стенда используется один клапан К-1 с каналом управления «Kred».

### Приложение 3

#### Оценка погрешности лабораторного эталонного стенда

Теоретически, применение для создания эталонных расходов критических сопел, позволяет с необходимой точностью обеспечить градуировку и поверку газовых счетчиков. Эталонные критические сопла калибруются во Всероссийском Научно-исследовательском институте расходомерии (ФГУП ВНИИР) г. Казань на Государственном первичном эталоне единиц объемного и массового расходов газа ГЭТ 118-2017 для воспроизведения единиц объемного и массового расходов в диапазоне  $(3 \cdot 10^{-4} - 16000)$  м<sup>3</sup>/ч. Неопределенность стандартная по типу А  $(1 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-4})$ , по типу В  $(2,8 \cdot 10^{-4} - 5,3 \cdot 10^{-4})$ , суммарная  $(3 \cdot 10^{-4} - 5,5 \cdot 10^{-4})$ .

В результате выполненной калибровки критических сопел (ПРИЛОЖЕНИЕ 1) погрешность задания расхода с помощью критических сопел на лабораторном эталонном стенде составляет 0,25% при стандартных условиях.

Расход через эталонные критические сопла определяется по формуле:

$$q_i = K_i \frac{P_c}{\sqrt{T_c}} \quad (1)$$

где  $K_i$  – коэффициенты истечения критических сопел А2-А11,

$P_c$  – абсолютное давление на входе сопла, измеряемое кварцевым датчиком давления МН10 с относительной погрешностью 0,075 % при абсолютном входном давлении 200 кПа,

$T_c$  – абсолютная температура газа на входе сопла, измеряемая кварцевым термопреобразователем ДТ2 в диапазоне температур 18-24<sup>0</sup>С с относительной погрешностью не более 0,06%.

Результирующая погрешность измерения расхода через эталонные критические сопла оценивается по формуле:

$$\delta q = \sqrt{\delta K^2 + \delta P_c^2 + 0,25\delta T_c^2} \quad (2)$$

Для применяемых критических сопел с погрешностью 0,25%, кварцевым преобразователе абсолютного давления с относительной погрешностью 0,075%, кварцевым преобразователе абсолютной температуры с

относительной погрешностью 0,06%, результирующая погрешность измерения расхода составляет 0,27%. Что соответствует требованиям к эталонному стенду.

### **Специфика лабораторного эталонного стенда**

Однако, условия применения критических сопел и преобразователей давления и температуры в лабораторном эталонном стенде отличаются от условий их калибровки. Расходомер-счетчик «Прамер-210» осуществляет импульсное преобразования расхода, т.е. осуществляет периодическое прерывание расхода. Это вызывает изменение давления на выходе расходомера-счетчика, которое стабилизируется регулятором давления, установленным после него. Для сети газоснабжения эти колебания давления не существенны, а для эталонного стенда их необходимо учитывать. Поскольку погрешность измерения преобразователей давления и температуры соответственно, 0,075% и 0,06%, погрешность измерения выходной частоты преобразователей должна быть не хуже 0,01%

Чтобы скорректировать погрешность, вызванную колебанием сигналов датчиков с максимальной частотой повторения 1Гц, осуществляется численное интегрирование сигнала кварцевых преобразователей давления и температуры в интервале времени кратном периоду колебания давления. При этом форма колебания не синусоидальная, а больше соответствует импульсному воздействию длительностью 0,2-0,4 с. Для выполнения качественного интегрирования необходимо, чтобы в интервал интегрирования укладывалось достаточно большое число отсчетов преобразователей давления и температуры. Т.е. полное время отсчета должно быть минимально и составлять значение не более 0,05 с, включая время вычислений и передачи информации. Но для достижения относительной погрешности измерения частоты 0,01% типовым методом измерения в диапазоне частот преобразователей давления и температуры от 500 до 3000 Гц требуются существенно большие интервалы времени отсчета. Для преодоления этого противоречия применен метод измерения частоты с «квазипостоянной относительной погрешностью» [1].

Метод измерения частоты с «квазипостоянной относительной погрешностью» состоит в следующем. При измерении низких частот стандартным частотомером интервал времени измерения опорной тактовой частоты задается выбором фиксированного количества периодов измеряемой частоты. При этом, измеренное значение частоты рассчитывается по формуле

$$f_x = \frac{m}{n_x} f_0 \quad (3)$$

Где  $f_x; f_0$ -, соответственно, измеряемая и опорная частоты;

$m$  - интервал времени счета, определяемый фиксированным числом периодов измеряемой частоты,

$n_x$  - число импульсов опорной частоты, попавших в интервал времени счета.

При таком методе измерения необходимо задать число периодов измеряемой частоты  $m$  такое, чтобы при максимальной измеряемой частоте 3000 Гц погрешность квантования равная  $\delta_k = \frac{1}{n_x}$ , была бы меньше, чем  $0,5 \cdot 10^{-4}$  половине предельной погрешности. В этом случае, для измерения минимальной частоты 500 Гц потребуется в 6 раз большее время измерения.

При применении метода измерения с «квазипостоянной относительной погрешностью» независимо от измеряемой частоты задается минимально необходимое время интервала счета, достаточное для достижения требуемой относительной погрешности квантования  $\delta_0 = \frac{1}{n_0}$ . А после достижения на счетчике импульсов опорной частоты числа  $n_0$ , измерение оканчивается при поступлении ближайшего фронта импульса измеряемой частоты.

Тогда измеряемая частота рассчитывается по формуле

$$f_x = \frac{m_x}{n_x} f_0 \quad (4)$$

Где  $m_x$  -целое число импульсов измеряемой частоты, уложившихся в интервал измерения  $T_u = \frac{m_x}{f_x}$ ;

$n_x$  -целое число импульсов опорной частоты, уложившихся в интервал измерения  $n_x \geq n_0$ .

Применение метода измерения с «квазипостоянной относительной погрешностью» позволило усреднять отсчеты частотных преобразователей давления и температуры в течение всего времени измерения расхода с интервалом 50 мс. и погрешностью измерения частоты не хуже 0,005%.

## Методика оценки погрешности лабораторного эталонного стенда

Как уже отмечалось, условия работы критических сопел в лабораторном эталонном стенде отличаются от условий их калибровки. Это вносит дополнительную погрешность задания соплами эталонных расходов. Поэтому дополнительно проводилось сравнение показаний эталонных стендов.

Используемые Н-Т документы:

-ГОСТР 8.618-2014 Государственная поверочная схема для средств измерения объемного и массового расхода газа;

-ГОСТ 8.381-2009 ЭТАЛЮНЫ. Способы выражения точности;

Сравнение лабораторного эталонного стенда проводилось с помощью выбранного для испытаний эталонного счетчика «Прамер-210». В заданных точках диапазона этим счетчиком проводилось измерение рабочего расхода на Государственном первичном эталоне единиц объемного и массового расхода газа ГЭТ 118-2017 (эталон 1) и на лабораторном эталонном стенде (эталон 2). В результате этого сравнения получена оценка погрешности лабораторного эталонного стенда. Протокол приведен в ПРИЛОЖЕНИИ 2.

Чтобы исключить погрешность, вызванную разбросом установки расхода на стендах, сравнивались не значения измеренных расходов, а значения погрешностей измерения, полученных на счетчике сравнения при фиксированных значениях номинальных расходов на каждом из стендов.

Т.е. результатом  $i$ -го сравнения является не разность измеренных расходов при заданном номинальном значении расхода, а разность погрешностей, полученных при измерении одним и тем же счетчиком сравнения на первом стенде и на втором .

$$\delta q_i = \delta q_{i1} - \delta q_{i2} \quad (5)$$

При измерении в одинаковых условиях одинаковых расходов систематическая погрешность счетчика сравнения в выражении (5) компенсируется в значительной степени. Случайная погрешность измерений снижается за счет увеличения количества отсчетов. Таким образом, задавая переменную величину с помощью формулы (1), можно получить приближенную оценку разности погрешностей сравниваемых стендов  $\overline{\delta q_i}$ .

Оценка погрешности лабораторного эталонного стенда проводилась в соответствии с методикой, приведенной в ГОСТ 8.381-2009 «ЭТАЛОНЫ. Способы выражения точности проводится оценка точности вторичного эталона». Согласно ГОСТ 8.381-2009 на основе полученных результатов измерений проведены следующие расчеты:

1. Определяется среднее арифметическое значение разностей погрешностей измерения (5)  $\overline{\delta q_i}$

$$\overline{\delta q_i} = \frac{1}{n} \sum_i \delta q_i \quad (6)$$

2. Определяется среднее квадратическое отклонение (СКО)  $S_{\overline{\delta q_i}}$  среднего арифметического (6)

$$S_{\overline{\delta q_i}} = \sqrt{\frac{\sum_i (\delta q_i - \overline{\delta q_i})^2}{n(n-1)}} \quad (7)$$

3. Оценивается неисключенная систематическая погрешность (НСП) стенда. Неисключенная систематическая погрешность стенда рассчитывается как сумма неисключенных систематических погрешностей влияющих величин. Расход через эталонные критические сопла определяется по формуле (1) из которой следует зависимость суммарной систематической погрешности от составляющих систематических погрешностей в виде

$$\Theta_{\overline{\delta q}} = \pm(\delta K + \delta P + 0,5\delta T) \quad (8)$$

В соответствии с паспортными данными влияющие преобразователи имеют предельные относительные погрешности:

- критические сопла не более 0,25%;
- преобразователь абсолютного давления не более 0,075%;
- преобразователь абсолютной температуры не более 0,06%.

В паспортных данных не приведено, какую часть предельной погрешности составляет систематическая составляющая. Но обычно, систематическая составляющая погрешности не превосходит половины предельной погрешности. При таком соотношении предельная неисключенная систематическая погрешность может быть оценена как

$$\Theta_{\overline{\delta q}} = \pm(\delta K_c + \delta P_c + 0,5\delta T_c) = \pm(0.125 + 0.0375 + 0.015) = 0.178\% \quad (9)$$

4.Выполняется оценка доверительных границ суммарной погрешности вторичного эталона.

Оценка доверительной границы суммарной погрешности воспроизводимой единицы расхода  $S_{\delta q_i \Sigma}(P)$  вычисляется по формуле

$$S_{\delta q_i \Sigma}(P) = \pm K_{\Sigma} S_{\delta q_i \Sigma} \quad (10)$$

Где  $K_{\Sigma}$  -коэффициент, определяемый доверительной вероятностью P и отношением случайных погрешностей и НСП.

$S_{\delta q_i \Sigma}$  - суммарное СКО воспроизводимой единицы расхода, обусловленное воздействием случайных погрешностей и НСП.

Значение коэффициента вычисляют по формуле

$$K_{\Sigma} = \frac{\left( t_{\alpha}(n) S_{\delta q_i} + \Theta_{\delta q} \right)}{\left( S_{\delta q_i} + S_{\Theta_{\delta q}} \right)} \quad (11)$$

Где  $t_{\alpha}(n) = 2,26$  - коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности  $P=0,95$  при  $n=10$ .

$S_{\Theta_{\delta q}}$  - среднее квадратическое отклонение НСП .

Среднее квадратическое отклонение НСП вычисляют по формуле

$$S_{\Theta_{\delta q}} = \sqrt{\frac{\delta K_c^2 + \delta P_c^2 + 0.25 \delta T_c^2}{3}} \quad (12)$$

Суммарное СКО, воспроизводимой единицы расхода  $S_{\delta q_i \Sigma}$ , обусловленное воздействием случайных погрешностей и НСП, вычисляют по формуле

$$S_{\delta q_i \Sigma} = \sqrt{S_{\delta q_i}^2 + S_{\Theta_{\delta q}}^2} \quad (13)$$

По полученным значениям в формулах (11,12,13) рассчитывается оценка доверительной границы суммарной погрешности воспроизводимой единицы расхода  $S_{\delta q_i \Sigma}(0,95)$  для вероятности 0,95 (10)

Форма представления результата:

- Среднее значение относительной погрешности  $\overline{\delta q_i}$
- Доверительные границы суммарной относительной погрешности вторичного эталона для вероятности 0,95  $S_{\overline{\delta q_i}, \Sigma}(0.95)$
- Число измерений  $n=10$

Результаты оценки погрешности приведены в приложении 2.

По результатам сравнения лабораторная эталонная установка соответствует поверочной установке 1 разряда по ГОСТ 8.618-2014, для воспроизведения единиц объемного и массового расходов в диапазоне от 0,5 до 100 м<sup>3</sup>/ч, относительная расширенная неопределенность 0,3 %.

#### Литература

1. Цыбульский О.А. Анализ возможностей построения цифрового частотомера для информационно-измерительной системы // Автоматизация и метрология научных исследований. Кишинев. 1985, с.39-44.

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Сертификаты калибровки критических сопел

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 1. Оценка точности задания расхода критическим соплом с рабочим расходом 0,6 м<sup>3</sup>/ч

№	Номинальное значение рабочего расхода, м <sup>3</sup> /ч	Рабочий расход Эталона 1 м <sup>3</sup> /ч	Рабочий расход счетчика м <sup>3</sup> /ч	Относительная погрешность 1 %	Рабочий расход Эталона 2 м <sup>3</sup> /ч	Рабочий расход счетчика м <sup>3</sup> /ч	Относительная погрешность 2 %	Разность относит. погрешностей %
1	0,6	0,5817	0,5823	0,103%	0,5806	0,5811	0,086%	-0,017%
2	0,6	0,5831	0,582	-0,189%	0,5821	0,5813	-0,138%	0,051%
3	0,6	0,5828	0,5818	-0,172%	0,5815	0,5818	0,052%	0,223%
4	0,6	0,5813	0,582	0,120%	0,5808	0,5804	-0,069%	-0,189%
5	0,6	0,5822	0,5821	-0,017%	0,5811	0,5823	0,206%	0,223%
6	0,6	0,5818	0,5806	-0,207%	0,5817	0,5814	-0,052%	0,155%
7	0,6	0,5827	0,5823	-0,069%	0,5806	0,581	0,069%	0,138%
8	0,6	0,5829	0,5825	-0,069%	0,5821	0,5811	-0,172%	-0,103%
9	0,6	0,5814	0,5813	-0,017%	0,5815	0,5821	0,103%	0,120%
10	0,6	0,5808	0,5821	0,223%	0,5812	0,5816	0,069%	-0,155%

<b>Среднее значение</b>	<b>0,045%</b>
<b>СКО среднего</b>	<b>0,048%</b>
<b>Оценка границы НСП</b>	<b>0,178%</b>
<b>Оценка СКО НСП</b>	<b>0,076%</b>
<b>Расчет К сумм</b>	<b>2,309</b>
<b>Суммарное СКО</b>	<b>0,090%</b>
<b>Доверит. границы погрешности ±</b>	<b>0,21%</b>

### Результат оценки

- Среднее значение относительной погрешности  $\overline{\delta q_{0,6}} = 0,045\%$ ;
- Доверительные границы суммарной относительной погрешности вторичного эталона для вероятности 0,95  $S_{\overline{\delta q}, \Sigma}(0,95) = 0,21\%$
- Число измерений  $n=10$

Таблица 2. Оценка точности задания Номер расхода критическим соплом с рабочим расходом 1,5 м3/ч

№	Номинальное значение рабочего расхода, м3/ч	Рабочий расход Эталона 1 м3/ч	Рабочий расход счетчика м3/ч	Относительная погрешность 1 %	Рабочий расход Эталона 2 м3/ч	Рабочий расход счетчика м3/ч	Относительная погрешность 2 %	Разность относит. погрешностей %
1	1,5	1,5556	1,5546	-0,064%	1,5552	1,5549	-0,019%	0,045%
2	1,5	1,5557	1,5589	0,205%	1,5553	1,5551	-0,013%	-0,218%
3	1,5	1,555	1,5532	-0,116%	1,5548	1,5544	-0,026%	0,090%
4	1,5	1,5552	1,5546	-0,039%	1,5562	1,5549	-0,084%	-0,045%
5	1,5	1,5553	1,5578	0,160%	1,5543	1,5551	0,051%	-0,109%
6	1,5	1,5558	1,5542	-0,103%	1,5548	1,5564	0,103%	0,206%
7	1,5	1,5549	1,5574	0,161%	1,5542	1,5546	0,026%	-0,135%
8	1,5	1,5551	1,5558	0,045%	1,5551	1,5531	-0,129%	-0,174%
9	1,5	1,555	1,5532	-0,116%	1,5547	1,5542	-0,032%	0,084%
10	1,5	1,5553	1,5569	0,103%	1,5543	1,553	-0,084%	-0,186%

<b>Среднее значение</b>	<b>-0,044%</b>
<b>СКО среднего</b>	<b>0,045%</b>
<b>Оценка границы НСП</b>	<b>0,178%</b>
<b>Оценка СКО НСП</b>	<b>0,076%</b>
<b>Расчет К сумм</b>	<b>2,310</b>
<b>Суммарное СКО</b>	<b>0,088%</b>
<b>Доверит. границы погрешности ±</b>	<b>0,20%</b>

## Результат оценки

- Среднее значение относительной погрешности  $\overline{\delta q_{1,5}} = -0,044\%$ ;
- Доверительные границы суммарной относительной погрешности вторичного эталона для вероятности 0,95  $S_{\overline{\delta q_{1,5}}}(0,95) = 0,20\%$
- Число измерений  $n=10$

Таблица 3. Оценка точности задания расхода критическим соплом с рабочим расходом 3,0 м<sup>3</sup>/ч

№	Номинальное значение рабочего расхода, м <sup>3</sup> /ч	Рабочий расход Эталона 1 м <sup>3</sup> /ч	Рабочий расход счетчика м <sup>3</sup> /ч	Относительная погрешность 1 %	Рабочий расход Эталона 2 м <sup>3</sup> /ч	Рабочий расход счетчика м <sup>3</sup> /ч	Относительная погрешность 2 %	Разность относит. погрешностей %
1	3	2,941	2,9366	-0,150%	2,9425	2,9347	-0,266%	-0,116%
2	3	2,9375	2,9319	-0,191%	2,93435	2,9319	-0,084%	0,107%
3	3	2,9373	2,9295	-0,266%	2,9333	2,9295	-0,130%	0,137%
4	3	2,9389	2,9356	-0,112%	2,9396	2,9362	-0,116%	-0,003%
5	3	2,9354	2,9326	-0,095%	2,9362	2,9324	-0,130%	-0,034%
6	3	2,9338	2,9287	-0,174%	2,9351	2,9355	0,014%	0,188%
7	3	2,9396	2,9336	-0,205%	2,9354	2,9346	-0,027%	0,177%
8	3	2,9402	2,9344	-0,198%	2,9354	2,9318	-0,123%	0,075%
9	3	2,9381	2,9395	0,048%	2,9403	2,9392	-0,037%	-0,085%
10	3	2,9353	2,9298	-0,188%	2,9361	2,9271	-0,307%	-0,120%

Среднее значение	<b>0,033%</b>
СКО среднего	<b>0,038%</b>
Оценка границы НСП	<b>0,178%</b>
Оценка СКО НСП	<b>0,076%</b>
Расчет К сумм	<b>2,314</b>
Суммарное СКО	<b>0,085%</b>
Доверит. границы погрешности ±	<b>0,20%</b>

### Результат оценки

- Среднее значение относительной погрешности  $\overline{\delta q_3} = 0,033\%$ ;
- Доверительные границы суммарной относительной погрешности вторичного эталона для вероятности 0,95  $S_{\overline{\delta q_3}, \Sigma}(0,95) = 0,20\%$
- Число измерений  $n=10$

Таблица 4. Оценка точности задания расхода критическим соплом с рабочим расходом 7,0 мЗ/ч

№	Номинальное значение рабочего расхода, мЗ/ч	Рабочий расход Эталона 1 мЗ/ч	Рабочий расход счетчика мЗ/ч	Относительная погрешность 1 %	Рабочий расход Эталона 2 мЗ/ч	Рабочий расход счетчика мЗ/ч	Относительная погрешность 2 %	Разность относит. погрешностей %
1	7	7,2853	7,2818	-0,048%	7,2794	7,2868	0,102%	0,150%
2	7	7,2842	7,2819	-0,032%	7,2772	7,2842	0,096%	0,128%
3	7	7,2825	7,2927	0,140%	7,2765	7,2847	0,113%	-0,027%
4	7	7,2823	7,2933	0,151%	7,2794	7,2868	0,102%	-0,049%
5	7	7,2832	7,2957	0,171%	7,2772	7,2834	0,085%	-0,086%
6	7	7,2829	7,2827	-0,003%	7,2765	7,2827	0,085%	0,088%
7	7	7,2863	7,2818	-0,062%	7,2794	7,2868	0,102%	0,163%
8	7	7,2862	7,2919	0,078%	7,2772	7,2874	0,140%	0,062%
9	7	7,2828	7,2888	0,082%	7,2765	7,2787	0,030%	-0,052%
10	7	7,2823	7,2911	0,121%	7,2755	7,2801	0,063%	-0,058%

Среднее значение	<b>0,032%</b>
СКО среднего	<b>0,030%</b>
Оценка границы НСП	<b>0,178%</b>
Оценка СКО НСП	<b>0,076%</b>
Расчет К сумм	<b>2,317</b>
Суммарное СКО	<b>0,082%</b>
Доверит. границы погрешности ±	<b>0,19%</b>

### Результат оценки

- Среднее значение относительной погрешности  $\overline{\delta q_7} = 0,032\%$ ;
- Доверительные границы суммарной относительной погрешности вторичного эталона для вероятности 0,95  $S_{\overline{\delta q_7}, \Sigma}(0,95) = 0,19\%$
- Число измерений  $n=10$

Таблица5. Оценка точности задания расхода критическим соплом с рабочим расходом 30 м3/ч

№	Номинальное значение рабочего расхода, м3/ч	Рабочий расход Эталона 1 м3/ч	Рабочий расход счетчика м3/ч	Относительная погрешность 1 %	Рабочий расход Эталона 2 м3/ч	Рабочий расход счетчика м3/ч	Относительная погрешность 2 %	Разность относит. погрешностей %
1	30	28,5775	28,5147	-0,220%	28,5887	28,5223	-0,233%	-0,013%
2	30	28,6077	28,5897	-0,063%	28,6377	28,5797	-0,203%	-0,140%
3	30	28,6331	28,6073	-0,090%	28,6531	28,6011	-0,182%	-0,092%
4	30	28,5733	28,5123	-0,214%	28,6187	28,5223	-0,338%	-0,124%
5	30	28,6075	28,5897	-0,062%	28,6377	28,5797	-0,203%	-0,141%
6	30	28,6331	28,6074	-0,090%	28,5831	28,6011	0,063%	0,153%
7	30	28,5775	28,5147	-0,220%	28,5887	28,5293	-0,208%	0,012%
8	30	28,6077	28,5896	-0,063%	28,5777	28,5897	0,042%	0,105%
9	30	28,6331	28,6066	-0,093%	28,5741	28,5024	-0,252%	-0,159%
10	30	28,6331	28,6072	-0,091%	28,5839	28,5711	-0,045%	0,046%

<b>Среднее значение</b>	<b>-0,035%</b>
<b>СКО среднего</b>	<b>0,035%</b>
<b>Оценка границы НСП</b>	<b>0,178%</b>
<b>Оценка СКО НСП</b>	<b>0,076%</b>
<b>Расчет К сумм</b>	<b>2,315</b>
<b>Суммарное СКО</b>	<b>0,084%</b>
<b>Доверит. границы погрешности ±</b>	<b>0,19%</b>

### Результат оценки

- Среднее значение относительной погрешности  $\overline{\delta q_{30}} = -0,035\%$ ;
- Доверительные границы суммарной относительной погрешности вторичного эталона для вероятности 0,95  $S_{\overline{\delta q_{30}}}(0,95) = 0,19\%$
- Число измерений  $n=10$

Таблица 6. Оценка точности задания расхода критическим соплом с рабочим расходом 50 м3/ч

№	Номинальное значение рабочего расхода, м3/ч	Рабочий расход Эталона 1 м3/ч	Рабочий расход счетчика м3/ч	Относительная погрешность 1 %	Рабочий расход Эталона 2 м3/ч	Рабочий расход счетчика м3/ч	Относительная погрешность 2 %	Разность относит. погрешностей %
1	50	48,5841	48,4776	-0,220%	48,5877	48,5045	-0,172%	0,048%
2	50	48,8845	49,0069	0,250%	48,6377	48,7656	0,262%	0,013%
3	50	48,9731	49,0413	0,139%	48,6532	48,6803	0,056%	-0,083%
4	50	28,5733	28,5123	-0,214%	28,6187	28,5287	-0,315%	-0,102%
5	50	28,6075	28,5897	-0,062%	28,6371	28,5797	-0,201%	-0,139%
6	50	28,6331	28,6074	-0,090%	28,5751	28,6015	0,092%	0,182%
7	50	28,5775	28,5147	-0,220%	28,5984	28,5325	-0,231%	-0,011%
8	50	28,6077	28,5896	-0,063%	28,5273	28,5764	0,172%	0,235%
9	50	28,6331	28,6066	-0,093%	28,5471	28,5903	0,151%	0,244%
10	50	28,6331	28,6072	-0,091%	28,5844	28,5704	-0,049%	0,042%

<b>Среднее значение</b>	<b>0,043%</b>
<b>СКО среднего</b>	<b>0,043%</b>
<b>Оценка границы НСП</b>	<b>0,178%</b>
<b>Оценка СКО НСП</b>	<b>0,076%</b>
<b>Расчет К сумм</b>	<b>2,311</b>
<b>Суммарное СКО</b>	<b>0,087%</b>
<b>Доверит. границы погрешности ±</b>	<b>0,20%</b>

### Результат оценки

- Среднее значение относительной погрешности  $\overline{\delta q_{50}} = 0,043\%$ ;
- Доверительные границы суммарной относительной погрешности вторичного эталона для вероятности 0,95  $S_{\overline{\delta q_{50}}}(0,95) = 0,20\%$
- Число измерений  $n=10$

Таблица 7. Оценка точности задания расхода критическим соплом с рабочим расходом 90 м3/ч

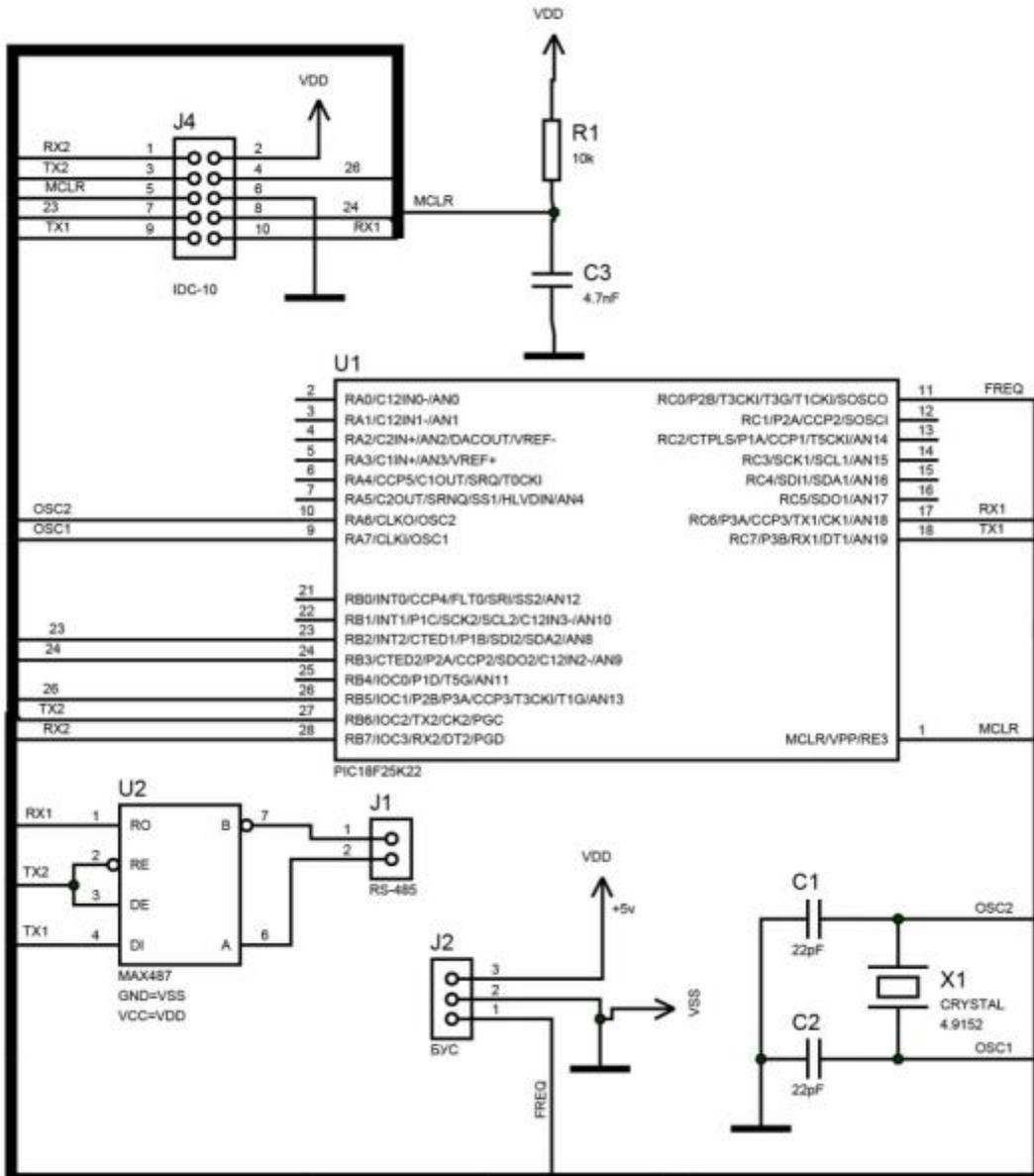
№	Номинальное значение рабочего расхода, м3/ч	Рабочий расход Эталона 1 м3/ч	Рабочий расход счетчика м3/ч	Относительная погрешность 1 %	Рабочий расход Эталона 2 м3/ч	Рабочий расход счетчика м3/ч	Относительная погрешность 2 %	Разность относит. погрешностей %
1	90	84,4599	84,7032	0,287%	85,1023	85,3501	0,290%	0,003%
2	90	84,5534	84,7222	0,199%	85,0064	85,2333	0,266%	0,067%
3	90	84,4321	84,6014	0,200%	85,1023	85,3004	0,232%	0,032%
4	90	84,3999	84,7012	0,356%	85,1023	85,4501	0,407%	0,051%
5	90	84,5671	84,7348	0,198%	85,0241	85,3349	0,364%	0,166%
6	90	84,4522	84,6345	0,215%	85,1553	85,2304	0,088%	-0,127%
7	90	84,4466	84,7055	0,306%	85,1043	85,3501	0,288%	-0,018%
8	90	84,4334	84,7243	0,343%	85,0154	85,2562	0,282%	-0,061%
9	90	84,4132	84,6127	0,236%	85,1066	85,1204	0,016%	-0,220%
10	90	84,5321	84,5366	0,005%	85,2003	84,8504	-0,412%	-0,418%

<b>Среднее значение</b>	<b>-0,052%</b>
<b>СКО среднего</b>	<b>0,053%</b>
<b>Оценка границы НСП</b>	<b>0,178%</b>
<b>Оценка СКО НСП</b>	<b>0,076%</b>
<b>Расчет К сумм</b>	<b>2,307</b>
<b>Суммарное СКО</b>	<b>0,092%</b>
<b>Доверит. границы погрешности ±</b>	<b>0,21%</b>

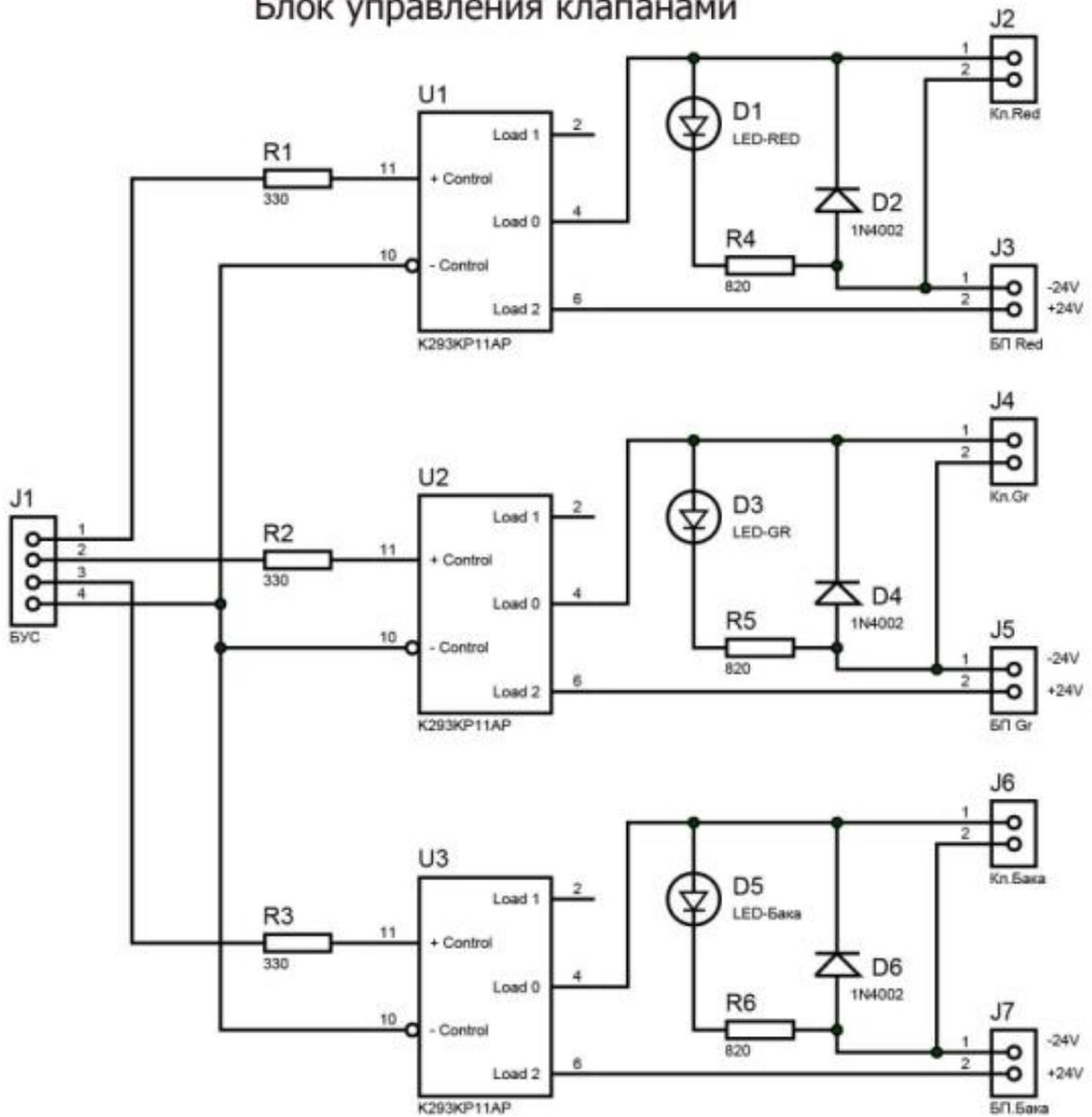
### Результат оценки

- Среднее значение относительной погрешности  $\overline{\delta q_{90}} = -0,052\%$ ;
- Доверительные границы суммарной относительной погрешности вторичного эталона для вероятности 0,95  $S_{\overline{\delta q_{90}}}(0,95) = 0,21\%$
- Число измерений  $n=10$

## Частотомер



## Блок управления клапанами



Блок управления стендом БУС

