

**Установка измерения расхода газа для исследований процессов
теплообмена**

Научный руководитель – Щелчков Алексей Валентинович

Гетман Павел Владимирович

Аспирант

Казанский национальный исследовательский государственный технический университет
им. А.Н.Туполева, Институт авиации, наземного транспорта и энергетики, Кафедра
теплотехники и энергетического машиностроения, Казань, Россия

E-mail: getman.rab@gmail.com

В данной работе была спроектирована установка измерения расхода газа и калибровки средств измерения расхода газа. Проведен сравнительный анализ средств измерений расхода. Выполнен расчет сопел Лавалья, которые будут использоваться в приборе для измерения расхода газа, был спроектирован сам прибор, а также выбран необходимый диапазон объемного расхода, который будет воспроизводиться на нем. Рассчитаны и спроектированы сопла, которые будут использоваться в приборе. Произведена калибровка сопел с помощью Государственного первичного эталона единиц объёмного и массового расходов газа ГЭТ 118-2017. Была рассчитана общая относительная погрешность прибора для измерения расхода, которая соответствует действующим нормативным документам. Спроектирована установка для измерения расхода газа, которая бы включала в себя прибор для измерения расхода газа и экспериментальный рабочий участок для исследования процессов теплообмена в трактах теплообменного оборудования.

Важной частью установки измерения расхода газа для исследования процессов теплообмена (далее - установка) является прибор для измерения расхода (далее - прибор). Прибор должен быть спроектирован на основе наиболее точного средства измерения расхода газа. С целью определения наиболее подходящего для этого средства измерения был проведен анализ наиболее популярных средств измерений газа. Наиболее точными средствами измерения газа являются сопла Лавалья. Именно они и будут использоваться в приборе, который входит в состав установки. Чтобы уменьшить влияние пограничного слоя на поток в узких критических сечениях сопел с небольшим расходом ($16 \text{ м}^3/\text{ч}$ и меньше) было принято решение использовать сопла Лавалья с тороидальным горлом. Использование такого вида профиля для всех используемых сопел облегчит расчеты.

В качестве рабочей среды был взят атмосферный воздух. Диапазон объемного расхода, воспроизводимого на установке, был взят от 0 до $127 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для точных измерений было принято решение использовать 7 сопел: сопло объемного расхода 1, 2, 4, 8, 16, 32 и $64 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Критическое сопло должно удовлетворять требованиям, указанным на рис. 1. [4]

Вычисляется диаметр критического сечения сопла в зависимости от объемного расхода. Номенклатура сопел выбрана из условия воспроизведения объемного расхода воздуха в диапазоне от $Q_{min} = 1$ до $Q_{max} = 127 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для объемного расхода $Q_v = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$ диаметр критического сечения $d = 1,3 \text{ мм}$; для $Q_v = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$ диаметр критического сечения $d = 1,9 \text{ мм}$; для $Q_v = 4 \text{ м}^3/\text{ч}$ диаметр критического сечения $d = 2,7 \text{ мм}$; для $Q_v = 8 \text{ м}^3/\text{ч}$ диаметр критического сечения $d = 3,8 \text{ мм}$; для $Q_v = 16 \text{ м}^3/\text{ч}$ диаметр критического сечения $d = 5,4 \text{ мм}$; для $Q_v = 32 \text{ м}^3/\text{ч}$ диаметр критического сечения $d = 7,6 \text{ мм}$; для $Q_v = 64 \text{ м}^3/\text{ч}$ диаметр критического сечения $d = 10,8 \text{ мм}$.

Далее рассчитывается давление на входе сопла, необходимое для того, чтобы добиться сверхзвукового режима истечения. Определяется отношение давлений в среде истечения p_2 и перед соплом p_1 : $\beta = p_2/p_1$ Сверхзвуковой режим истечения возможен

только при $\beta < \beta_{кр}$. При чрезвычайно тщательной обработке горла и расширяющегося участка можно достичь отношений давления $\beta_{кр} = 0,95$ [4]. На государственном первичном эталоне единиц объёмного и массового расходов газа ГЭТ 118-2017 была произведена работа по определению действительного значения отношения давлений, которая составляет $\beta_{кр} = 0,8$. Атмосферное давление берется для нормальных условий и принимается равным $p_2 = 0,101$ МПа. В таком случае давление перед соплами должно быть $p_1 > 0,101/0,8 \approx 0,126$ МПа.

Зная это, принимаем, что давление перед соплами должно быть более 0,13 МПа для получения сверхзвукового режима истечения.

Монтаж прибора для измерения расхода производится следующим образом:

- 1) Сопла помещаются в посадочной пластине, после чего закрепляются фиксирующей пластиной и помещаются на посадочное место в корпус прибора. В корпусе прибора пластины с установленными в нее соплами закрепляются болтом, который проходит через борты посадочного места и сам расходный блок. Болт закрепляется гайкой.
- 2) Поочередно к своим местам относительно сопел крепятся пневматические поршни.
- 3) К корпусу с помощью болтов крепится съемная створка.
- 4) Прибор устанавливается на установке с помощью фланцев.

Сборочный чертеж прибора для измерения расхода представлен на рис. 2.

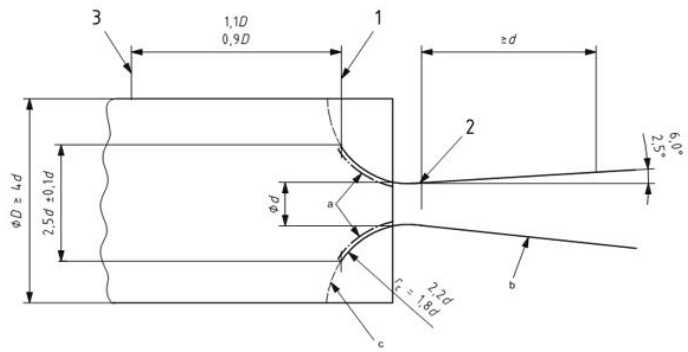
В общем виде установка для измерения расхода представляет собой участок трубопровода. Воздух от компрессора идет на прибор для измерения расхода. Для контроля течения воздуха через сопла, установленные в приборе, перед ним и после него предусмотрены датчики давления. Проходя через прибор воздух с заданным параметром объёмного расхода может идти либо на пост для калибровки средств измерения расхода, либо на рабочий участок для исследования процессов теплообмена. На трубопроводе перед рабочим участком предусмотрен расширяющийся участок трубопровода с термоэлектрическими нагревателями.

Принципиальная схема установки измерения расхода газа для исследования процессов теплообмена представлена на рис. 3. Основными элементами установки является компрессор 1, прибор для измерения расхода 3, место для установки калибруемого расходомера 7, расширенный участок трубопровода с нагревателем 11 и рабочий участок 14. На основании результатов теоретических расчетов была спроектирована установка измерения расхода газа, прибор для измерения расхода газа, экспериментальный участок, прибор для моделирования процессов теплообмена, а также пост для установки калибруемых средств измерений газа. Проведена калибровка сопел, используемых в приборе. Относительная расширенная неопределенность ($K=2$) прибора составляет 0,5%.

Источники и литература

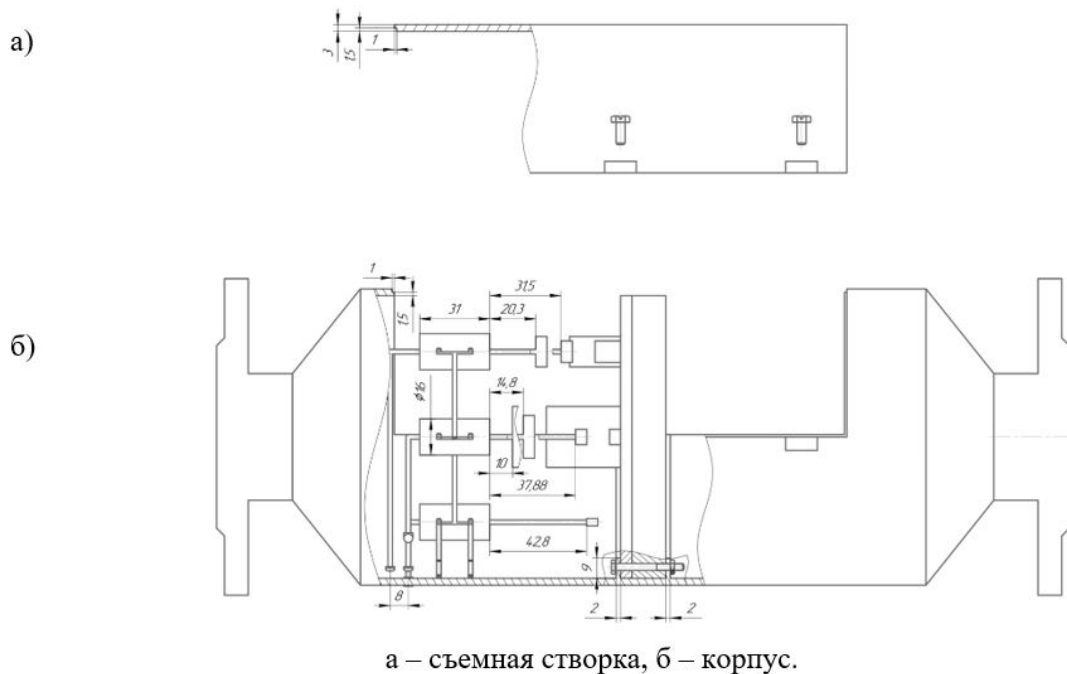
- 1) Кузник И.В., Тиунов М.Ю., Брюханов В.А. Метрологические проблемы измерений тепловой энергии в открытых системах водяного теплоснабжения
- 2) ГОСТ 3262-75 Трубы стальные водогазопроводные. Технические условия.
- 3) ГОСТ Р 54432-2011 Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление от PN1 до PN200. Конструкция, размеры и общие технические требования.
- 4) ISO 9300: 2005 (E). Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles.

Иллюстрации



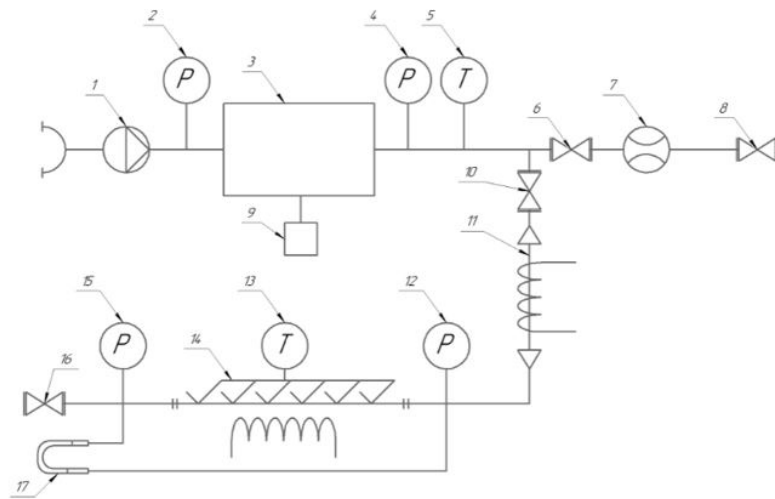
- 1 – входная плоскость;
- 2 – пересечение тороидальной поверхности с расширяющимся участком;
- 3 – расположение устройства измерения давления;
- а – в данной области среднее арифметическое отклонение профиля R_a не должно превышать 15×10^{-6} , а профиль не должен отклоняться от тороидального более чем на $\pm 0,001d$;
- б – в данной области значения арифметического отклонения не должны превышать $10^{-4}d$;
- с – входная поверхность должна находиться снаружи относительно данного профиля.

Рис. 1. Сопло Лавали с тороидальным горлом



а – съемная створка, б – корпус.

Рис. 2. Сборочный чертеж прибора для измерения расхода на базе критических сопел. а – съемная створка, б – корпус.



1 - компрессор; 2, 4, 12, 15 - датчик давления, 3 - прибор для измерения расхода; 5, 13 - датчик температуры; 6, 8, 10, 16 - запорная арматура; 7 - калибруемый расходомер-счетчик; 9 - автоматическая система контроля расхода; 11 - участок трубопровода с нагревателем, 14 - рабочий участок, 17 - U-образный пьезометр.

Рис. 3. Принципиальная схема установки измерения расхода газа.