

С.Д. Винничук, А.А. Шестаков, А.В. Ониськова, г.Киев.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА, ВЫТЕКАЮЩЕГО ИЗ ВЫХОДНОГО ОТВЕРСТИЯ ПРИТОЧНОГО ТРУБОПРОВОДА ПРИ ДОКРИТИЧЕСКИХ И КРИТИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ ИСТЕЧЕНИЯ

Анотація. На підставі аналізу способів виміру кількості повітря, що витікає з кожного з вихідних отворів уздовж приточного трубопроводу, в яких має місце критичний перепад тиску, встановлено, що при їх використанні спотворюється картина витікання. Представлено схему витратомірного пристрою, що відповідає таким вимогам: він не вносить зміни в структуру потоку, що витікає з вихідного отвору, компактний і за допомогою різних діаметрів вихідних трубок може визначатися витрата повітря в достатній для даного класу задач діапазоні.

Аннотация. На основании анализа способов замера количества воздуха, вытекающего из каждого из выходных отверстий вдоль приточного трубопровода, в которых имеет место критический перепад давления, установлено, что при их использовании искажается картина истечения. Представлено схему расходомерного устройства, отвечающего следующим требованиям: оно не вносит изменения в структуру потока вытекающего из выходного отверстия, компактно и с помощью различных диаметров выходных трубок может определяться расход воздуха в достаточном для данного класса задач диапазоне.

Abstract. Based on analysis of ways to measure the quantity of air which flows from each of the outlets, along the supply pipeline, there is a critical pressure drop in the outlets, is determined that the picture of outflow is distorted when its use. A scheme of flow measuring device has the following requirements: it does not change the structure of the stream flowing out of the outlet, it is compact, and with the help of the output tubes of different diameters can be determined air outgo in sufficient range for a given class of problems.

Ключові слова: стискувана рідина, критичний режим течії, витік із отворів, витратомірний пристрій.

Ключевые слова: сжимаемая жидкость, критический режим течения, истечение из отверстия, расходомерное устройство.

Keywords: compressible fluid, the critical flow regime, flow from the outlet, flow measuring device.

Введение. Для подачи воздуха в заданный объём применяются приточные трубопроводы. Поскольку в настоящее время нет чёткой теории, описывающей режимы течения сжимаемой жидкости в таких трубопроводах, основным источником информации, относительно происходящих в них

© С.Д. Винничук, А.А. Шестаков, А.В. Ониськова

процессов, является гидравлический эксперимент. Результаты, полученные в ходе эксперимента, и обработанные определённым образом, используя теорию подобия, могут быть распространены на все подобные условия.

В настоящее время существует ряд методик [1-3, 6] проектирования приточных трубопроводов различной конфигурации, используемых в системах вентиляции жилых и промышленных помещений, нагрева и охлаждения поверхности, теплообменных аппаратах и т.д. При их создании авторы принимали ряд допущений, в частности пренебрегали сжимаемостью воздуха. Это вполне оправданно для скоростей воздуха, не превышающих 0,3 М. Тогда погрешность расчёта составляет не более 5 % [1], что вполне допустимо при инженерных расчётах.

Приточные трубопроводы используются для рассредоточенной подачи воздуха, и при определённых условиях обладают рядом преимуществ по сравнению с другими способами распределённой подачи [6].

В приточных трубопроводах, применяемых в воздушно – тепловых противообледенительных системах (ВТ ПОС) современных самолётов, скорость воздуха достигает 0,6 М, а на выходных отверстиях, при критическом перепаде давления, местной скорости звука. На некоторых эксплуатационных режимах, скачки уплотнения появляются и внутри подводящих трубопроводов – в местах сужения, расширения потока или на агрегатах установленных в газораспределительной системе (ГРС): заслонках, кранах – регуляторах, мерных устройствах, компенсаторах и т.д. В данном случае пренебрегать сжимаемостью воздуха недопустимо, так как это может привести к ошибочному определению значения потребного давления или расхода воздуха до 30 % и выше [5], а при проектировании приточного трубопровода к неверному (ошибочному) определению конструктивных параметров всей распределительной системы (РС).

В связи с недостаточной изученностью подобных режимов течения в приточных трубопроводах и отсутствием практических рекомендаций при их проектировании, исследования в данной области являются актуальной задачей и в настоящее время.

Основная часть. При исследовании приточных трубопроводов, в которых имеет место критический перепад давления на выходных отверстиях, основное внимание необходимо уделить двум вопросам: 1 – определению суммарного расхода воздуха протекающего через приточный трубопровод; 2 – определению равномерности вытекания воздуха из выходных отверстий вдоль приточного трубопровода.

Очевидно, что обе эти проблемы взаимосвязаны. Для определения равномерности истечения воздуха из выходных отверстий приточного трубопровода необходимо выполнить замер количества воздуха вытекающего из каждого выходного отверстия вдоль всего приточного трубопровода, или его части.

Для создания математической модели физического явления необходимо

иметь корректные экспериментальные данные. Поэтому правильная постановка эксперимента является важнейшей задачей, которая стоит перед экспериментатором.

Получение экспериментальных данных невозможно без применения специально созданных приспособлений.

1. Методики измерения расхода воздуха через отверстие.

Измеряющие приборы условно могут быть разделены на два класса:

- 1 выполняющие непосредственно замер физической величины;
- 2 выполняющие косвенный замер.

В гидравлике используются приборы обоих классов: так к первому классу относятся водяные манометры и градусники (термодатчики), ко второму классу относятся расходомерные насадки типа трубы Вентури, сопло четверть круга, мерные диафрагмы.

В инженерной практике при определении расхода жидкости или газа определяют скорость и плотность потока. Наиболее широкое распространение получили пневмометрические и термоанеметрические методы. Для измерения скорости на основе этих методов в движущийся поток вводят чувствительный элемент, которые в той или иной степени искажают картину течения. Свободными от указанных недостатков являются оптические методы измерения. Значительно реже применяются другие методы измерения скорости электромагнитные, ультразвуковые и т.д. [4].

Пневмометрический метод измерения скоростей широко распространён в практике экспериментальных исследований благодаря своей простоте и доступности. Хотя пневмометрические расходомеры, основанные на определении расхода по замерам скорости и плотности потока в одной или нескольких точках сечения канала, являются менее точными по сравнению с расходомерами переменного перепада давления (сужающиеся устройства), в некоторых случаях их использование вполне допустимо для замера количества воздуха, вытекающего из выходных отверстий.

Наиболее часто при определении расхода воздуха выполняется замер динамического давления непосредственно на срезе выходного отверстия с помощью трубки Пито, а затем определяется количество воздуха, вытекающее из выходного отверстия, по известной формуле:

$$\Delta G = \rho f v_y = \mu \rho f \sqrt{\frac{2h_x}{\rho}},$$

где ΔG – расход вытекающего воздуха из отверстия, кг/с;

$\rho = \frac{\gamma}{g}$ – массовая плотность воздуха, кг·с²/м⁴;

γ – удельный вес воздуха, который рассчитывался для нормальных условий по уравнению состояния идеального газа: $\gamma = \frac{P_{cm}}{RT}$, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

μ – коэффициент расхода;
 f – площадь отверстия, м²;
 v_y – скорость в направлении перпендикулярном оси трубопровода, м/с;
 h_x – перепад статического давления, кг/м².

При малых расходах воздуха через выходные отверстия, используют специальное устройство термоанемометр, которое перед этим обязательно тарируют. Принцип действия данного устройства основан на усилении электрического тока при увеличении скорости потока воздуха, который обдувает чувствительный элемент.

При критическом перепаде давления использование трубки Пито или термоанемометра практически невозможно, в связи с тем, что установка трубки Пито на срезе выходного отверстия исказит картину истечения. При использовании термоанемометра погрешность замера возрастает настолько, что данные, полученные таким образом, практически невозможно использовать при дальнейших исследованиях.

В связи с вышеизложенным, на АНТК им. О. К. Антонова было спроектировано расходомерное устройство, с помощью которого можно определить количество воздуха вытекающего из выходного отверстия приточного трубопровода как при до критическом, так и критическом перепаде давления на выходных отверстиях.

2. Требования к расходомерному устройству.

Расходомерное устройство должно отвечать следующим требованиям: оно не вносит изменения в структуру потока вытекающего из выходного отверстия, оно компактно и с помощью различных диаметров выходных трубок можно выполнять замер расхода воздуха в достаточном для данного класса задач диапазоне. При необходимости, геометрические размеры самого мерного устройства могут быть изменены.

Общий вид предложенного расходомерного устройства показан на рис. 1.

3. Принцип действия расходомерного устройства и результаты его экспериментальных испытаний.

Принцип действия данного устройства достаточно прост: воздух, вытекающий из выходного отверстия 2, поступает в камеру 3, затем, через выходную трубку 6 вытекает в атмосферу. Для замера статического давления в камеру 3 вварен штуцер, к которому присоединена импульсная трубка 5 вторым концом соединенная с водяным манометром 4. Определив гидравлические потери давления на выходной трубке 6, можно найти расход воздуха, протекающий через расходомерное устройство и, соответственно, через выходное отверстие в приточном трубопроводе.

В некоторых случаях, для исключения пульсаций потока воздуха на выходной трубке, целесообразно применять сетку 7, которая должна быть

специально рассчитана, и обеспечивать как можно лучшее выравнивание профиля скорости при создании наименьшего сопротивления, что бы как можно меньше оказывать влияние на результаты замера. Внутренний диаметр выходной трубки 6 был равен 4 мм.

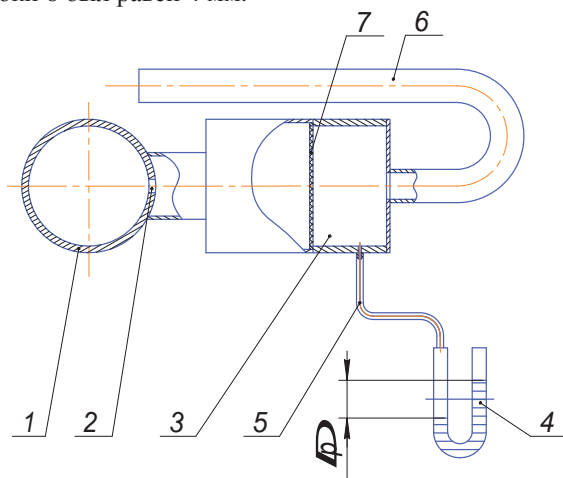


Рис. 1. Схема замера воздуха вытекающего из приточного трубопровода. 1. Приточный трубопровод; 2. выходное отверстие; 3. камера; 4. водяной манометр; 5. импульсная трубка; 6. выходная трубка; 7. сетка.

С целью подтверждения теоретических предпосылок работоспособности расходомерного устройства, представленного на рис.1, были проведены гидравлические испытания. Схема стенда, на котором проводились экспериментальные исследования, представлена на рис.2. Расход воздуха, вытекающий из выходного отверстия, замерялся эталонным расходомерным устройством – ротаметром. В приточном трубопроводе было вскрыто одно выходное отверстие диаметром 1 мм. Во время испытаний замерялся расход воздуха, вытекающий из отверстия в атмосферу, а так же вытекающий из отверстия в установленное расходомерные устройство. В таблице № 1 приводятся значения перепада давления на дифманометре б, расход воздуха, а так же перепад давление на расходомерном насадке.

Как видно из представленных в таблице № 1 результатов замера, установка расходомерного насадка не влияет на количество вытекающего из выходного отверстия воздуха.

Таблица № 1

$\Delta P_{\text{кам.}}, \text{ кг/см}^2$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
$\Delta P_{\text{нас.}}, \text{ кг/см}^2$	0,0032	0,005	0,0067	0,0087	0,01
$G_{\text{расчѐт}}, \text{ кг/ч}$	0,354	0,452	0,531	0,613	0,661
$G_{\text{замер нас.}}, \text{ кг/ч}$	0,37	0,481	0,55	0,585	0,658

Расчётное значение расхода воздуха протекающего через расходомерное устройство по замеренному статическому давлению, замеряемому на манометре 7, определялось с помощью программы “СЕТЬВЭ” [5].

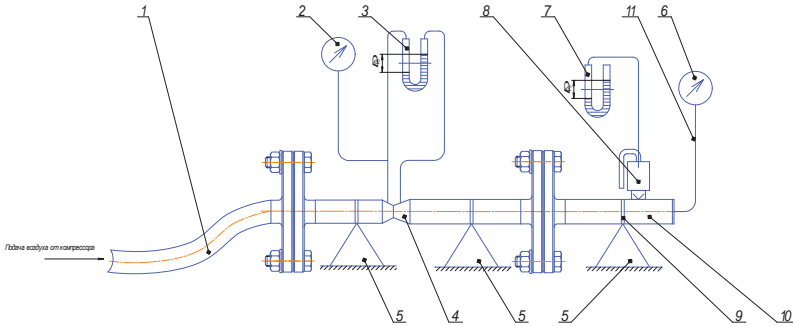


Рис.2. 1.Подводящий трубопровод; 2,6 камерный манометр; 3,7 водяной манометр; 4. эталонное мерное устройство; 5. опоры; 8 расходомерное устройство; 9. прижим; 10. приточный трубопровод; 11. импульсные трубки.

Выводы. Экспериментально установлено, что при соответствующем подборе внутреннего диаметра выходной трубки, созданное расходомерное устройство не влияет на процесс истечения воздуха из выходного отверстия в приточном трубопроводе. Расчётная схема созданная с помощью программы СетьВЭ адекватно отображает гидравлические процессы протекания через расходомерное устройство воздуха и может быть использована при дальнейших расчётах. Положительные результаты испытаний расходомерного устройства позволяют продолжить исследования направленные на дальнейшее изучение процессов истечения воздуха из приточного трубопровода при критическом перепаде давления на выходных отверстиях.

1. *Идельчик И. Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям/ Под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. доп. – М.: Машиностроение, 1992 г. – 672 с.:ил.
2. *Баулин К. К.* Исследование равномерной раздачи воздуха из прямых трубопроводов. – Отопление и вентиляция, № 7, 1934.
3. *Талиев В. Н.* Аэродинамика вентиляции. – М.:Стройиздат, 1979.–295 с.
4. Теория и техника теплофизического эксперимента: Учеб. пособие для вузов/Ю. Ф. Гортышев, Ф. Н. Древянников, Н. С. Идуатуллин и др.; Под ред. В. К. Щукина. – М.: Энергоатомиздат 1985. – 360 с., ил.
5. *Винничук С. Д.* Методи та алгоритми вирішення задач аналізу, проектування і управління розподілом потоків в гідравлічних розподільчих мережах. Дисертація на здобуття звання доктора тех.. наук Київ, 2006 р., 305 стор.
6. *Гримитлин М. И.* Временные руководящие указания по гидравлическому расчёту, применению и изготовлению приточных перфорированных воздухопроводов// научно – техническая информация по вопросам охраны труда, ЛИОТ № 19 1959 г.

Поступила 1.10.2015р.