

УДК 629.7.06-533.6

Канд. техн. наук В.Н. Цыганов, П.А. Лисаченко

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ ПО ОТСЕКАМ РН "ЦИКЛОН-4"

Аналитическим путем показано, на какой угол должны быть установлены заслонки "баттерфляй", чтобы обеспечить заданные расходы термостатирующего воздуха по отсекам ракеты-носителя с помощью одного раздающего трубопровода. Для решения задачи используется коэффициент расхода запорно-регулирующей арматуры для эталонной жидкости (воды), приведенный в фирменных каталогах.

Аналитичним шляхом показано, на який кут мають бути встановлені заслінки "баттерфляй", щоб забезпечити задані витрати термостатувального повітря по відсіках ракети-носія за допомогою одного розподіляючого трубопроводу. Для вирішення задачі використовується коефіцієнт витрати запірно-регулювальної арматури для еталонної рідини (води), наведений у фірмових каталогах.

In the paper it is analytically shown at what angle the butterfly type valves shall be installed to provide the pre-set consumption of thermostating air for launch vehicle compartments via feed pipeline. To solve this task we use flow coefficient of shut-off-and-regulating equipment for reference liquid (water), taken from firm catalogs.

Для обеспечения заданных расходов термостатирующего воздуха в отсеки РН с использованием одного раздающего трубопровода необходимо установить дросселирующие заслонки на определенный угол. Это можно сделать с использованием коэффициента расхода заслонок "баттерфляй" для эталонной жидкости (воды), значения которого приводятся в фирменных каталогах [1, с. 459].

Раздающий трубопровод системы термостатирования РН "Циклон-4" подает осушенный, очищенный и охлажденный атмосферный воздух в сухие отсеки ракеты-носителя. На каждом ответвлении трубопровода установлены заслонки "баттерфляй" и обратные клапаны немецкой фирмы End Armaturen. Трубопровод изображен на рисунке.

Исходные положения

Для расчета безразмерных коэффициентов гидравлических сопротивлений используются соотношения, приведенные в [2].

Термостатирующий воздух представим как несжимаемый газ, поскольку скорость его движения составляет не более 0,1 скорости звука [3, с. 110].

Трубопровод имеет термоизоляцию, поэтому температура потока принимается постоянной [2, с. 26].

Взаимовлияние местных сопротивлений пренебрегается.

Скорость потока в боковом ответвлении определяется по формуле [4, с. 197]

$$w_{\delta} = \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho \left(\left(\frac{f_{\delta}}{f_a} \right)^2 + \zeta_{oms} \right)}}, \quad (1)$$

где Δp – перепад давления на ответвлении; ρ – плотность потока; f_{δ}, f_a – соответственно площади бокового отверстия и конечного сечения всего ответвления (выход в атмосферу или другой общий объем); ζ_{oms} – общий коэффициент сопротивления бокового ответвления, который можно представить в виде суммы четырех членов:

$$\zeta_{oms} = \zeta_{\delta} + \zeta_d + \zeta_{ок} + \zeta_{омс}, \quad (2)$$

где ζ_{δ} – коэффициент сопротивления только бокового ответвления, приведенный к скорости w_{δ} в боковом ответвлении; ζ_d – коэффициент сопротивления заслонки "баттерфляй"; $\zeta_{ок}$ – коэффициент сопротивления обратного клапана; $\zeta_{омс}$ – коэффициент сопротивления отсека.

Потери давления на заслонке "баттерфляй" определяются по формуле

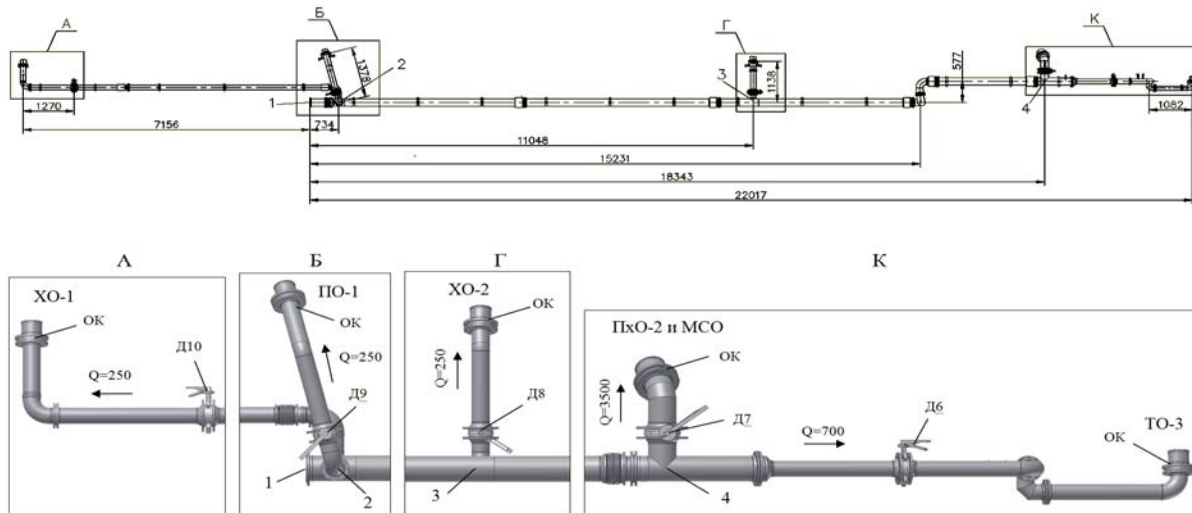
$$\Delta p = \left(\frac{Q}{k_v} \right)^2, \quad (3)$$

где Q – расход воды через заслонку, м³/ч;

k_v – коэффициент расхода заслонки, равный расходу воды при перепаде давления на заслонке, 1 бар. Между коэффициентом

k_v для воды таким ~~шОЦПРлнБ-50-7А(9Т/8В)р0А00Е72п141.98622.027065 14~~

Температура, °С	15	Число Рейнольдса	$5,7 \cdot 10^5$
Массовый расход, кг/с	1,65	Потери давления на отсеках, кПа:	
Плотность воздуха, кг/м ³	1,851	ХО-1	13
Объемный расход, м ³ /с	0,8914	ПО-1	13
Скорость потока, м/с	28,37	ХО-2	13
Скоростной напор, Па	745	ПхО-2 и МСО	8
		ТО-3	8
Кинематическая вязкость, м ² /с	10^{-5}		



Раздающий трубопровод системы термостатирования:

1 – вход в трубопровод; 2 – крестовина на ПО-1 и ХО-1; 3 – тройник на ХО-2; 4 – тройник на ПхО-2 и МСО; А, Б, Г, К – изображения боковых ответвлений; Дб – Д10 – заслонки "бабочки" на ответвлениях; ОК – обратные клапаны на концах ответвлений; Q – расходы, м³/ч, приведенные к стандартным условиям

Результаты расчета давлений и скоростей в характерных точках трубопровода приведены в табл. 1.

Таблица 2

Коэффициенты гидравлического сопротивления

Ответвление	ζ_b	$\zeta_{ок}$	$\zeta_{отс}$	ζ_d
К ХО-1	278	3	777	668
К ПО-1	278	3	777	668
К ХО-2	228	3	772	95
К ПхО-2 и МСО	2,7	1,9	16,2	7,7
К ТО-3	23,2	20,6	458	305

Таблица 1

Давления и скорости в характерных точках трубопровода

Точка трубопровода	Давление, Па	Перепад на ответвлении, Па	Скорость на ответвлении, м/с
После крестовины 2	$1,302 \cdot 10^5$	$0,289 \cdot 10^5$	4,61
После тройника 3	$1,198 \cdot 10^5$	$0,185 \cdot 10^5$	4,82
После тройника 4	$1,154 \cdot 10^5$	$0,141 \cdot 10^5$	26,6
Линия к ТО-3	$1,154 \cdot 10^5$	$0,141 \cdot 10^5$	5,0

Результаты расчета массовых расходов и углов поворота заслонок приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расходы по ответвлениям и искомые углы поворота заслонок "бабочки"

Ответвление	Массовый расход, кг/с	Угол поворота заслонки, °С
К ХО-1	0,0891	22
К ПО-1	0,0891	22
К ХО-2	0,0857	29,2
К ПхО-2 и МСО	1,1667	46,6
К ТО-3	0,2194	33

Результаты расчета коэффициентов гидравлического сопротивления приведены в табл. 2.

Опытная настройка заслонок

Опытная настройка заслонок предложена инженером А.Н. Петуховым [5, с. 38]. Методика настройки предусматривает последовательную подачу потока воздуха в каждое ответвление с заданным расходом при полностью открытой заслонке и регистрацией давления после заслонок. Записанные давления – измерения сопротивлений отсеков, так как потери на обратных клапанах и гибких рукавах существенно меньше потерь на отсеках. Затем медленно увеличивается расход в трубопроводе до полного суммарного при полностью открытых заслонках и наблюдении за давлениями перед отсеками. Когда давления достигнут записанных значений, начинается их удержание с помощью закрытия заслонок с одновременным увеличением потока до требуемого. В этот момент регулировка останавливается, а положения рукояток заслонок отмечаются маркером. Затем начинается вторая итерация: первый клапан остается в прежнем положении, остальные закрываются. Для первого ответвления устанавливается требуемый расход и записывается показание датчика давления перед отсеком. Эта операция повторяется для остальных ответвлений, при этом заслонки устанавливаются по маркеру. Новые значения давлений сравниваются с записанными. Если они отличаются, делается следующая итерация до совпадения.

Здесь надо заметить, что первая и вторая итерации существенно отличаются друг от друга начальным давлением. Вторая итерация идет при большем начальном давлении, так как сопротивления ответвлений стали больше из-за прикрытых заслонок. Поэтому целесообразно регистрировать и использовать в работе показания начального давления.

Что касается отличий новых давлений и ранее записанных, то это может быть связано с изменением атмосферного давления и взаимовлиянием местных сопротивлений друг на друга.

Выводы

1. Изложенная методика позволяет более глубоко прояснить физическую сущность работы раздающего трубопровода и дать ориентиры для опытной наладки.
2. В качестве одного из признаков правильной настройки следует считать достижение наибольших углов открытия заслонок.
3. Начальное давление в трубопроводе определяют отсеки с наибольшим гидравлическим сопротивлением. В рассматриваемом случае это хвостовой и приборный отсеки первой ступени, а также хвостовой отсек второй ступени.

Список использованной литературы

1. Маке В., Эккерт Г.-Ю., Кошпен Ж.-Л. Учебник по холодильной технике/ Пер. с франц. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 1135 с.
2. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
3. Давидсон В.Е. Введение в гидродинамику: учеб. – Днепропетровск: Изд-во ДНУ, 2002. – 220 с.
4. Идельчик И.Е. Аэродинамика промышленных аппаратов. – М.-Л.: Энергия, 1964. – 288 с.
5. Система термостатирования 2Г40: Руководство по эксплуатации 2Г40 94.7743.0000.0000.00.0 РЭ / ГП "КБ "Южное", 2013. – 43 с.

Статья поступила 24.06.2014