

## СТУПЕНЧАТАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ ВИХРЕВАЯ СИСТЕМА ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ ПРИБОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2007 В. П. Алексеенко, В. В. Бирюк

Самарский государственный аэрокосмический университет

В статье рассматривается устройство ступенчатой комбинированной вихревой системы термостатирования приборного оборудования летательных аппаратов на основе самовакумирующейся делящей вихревых труб.

Одним из вариантов автоматического регулирования параметров вихревой системы термостатирования (ВСТ) для расширения устойчивого диапазона её работы является автоматический выбор комбинаций работы нескольких вихревых труб, различающихся не только геометрическими размерами, но и конструктивно. Для этой цели можно использовать каскадные и ступенчатые

комбинированные по типу вихревых труб (ВТ) ВСТ.

В ОНИЛ-9 КуАИ была разработана вихревая система охлаждения [4] (ВСО) “Вихрь” (рис. 1).

ВСО “Вихрь” с самовакумирующейся вихревой трубой (СВТ) представляет собой двухкаскадную комбинированную систему, состоящую из делящей (ДВТ) и самовакуу-



Рис. 1. Схема ВСО “Вихрь” с СВТ и ДВТ

мирующей вихревых труб. Набегающий поток воздуха частично поступает на вход ДВТ первого каскада, частично в теплообменник ТО. В ДВТ происходит разделение потока на две части: холодный и горячий. Горячий поток воздуха через дроссель покидает ДВТ и выбрасывается в атмосферу. Холодный поток выходит через диафрагму и подается в теплообменник, где участвует в охлаждении поступающего в теплообменник набегающего потока воздуха, затем выбрасывается в атмосферу.

Охлажденный поток из теплообменника первого каскада поступает на вход СВТ второго каскада. В СВТ холодный поток воздуха используется для охлаждения стержня-теплоотвода, а горячий выбрасывается в атмосферу.

Недостатком каскадной ВСТ является довольно большие масса и габариты, а также высокий расход воздуха.

Этих недостатков лишены ступенчатые ВСТ.

С ростом скорости полета заметно возрастает степень повышения давления при динамическом сжатии набегающего потока, что при оптимальных потребных для эффективной работы СВТ степенях расширения  $\pi$  позволяет избыточную часть располагаемой степени расширения использовать для предварительного охлаждения воздуха, т. е. создать ступенчатую комбинированную схему.

В состав многоступенчатой комбинированной ВСТ в качестве первой степени входит СВТ и несколько ступеней ДВТ, которые отличаются друг от друга геометрическими размерами ВТ. Воздух, подаваемый на вход ВТ, в зависимости от режима работы может являться набегающим потоком или холодной компонентой потока от предыдущей ступени. СВТ используется для охлаждения цилиндрического тела, находящегося внутри трубы и расположенного на оси.

Так как СВТ работает эффективно в относительно узком диапазоне изменения высотно-скоростных характеристик (ВСХ), то подбором размеров ДВТ и режимов функционирования ступеней достигается перекрытие всего диапазона ВСХ, определяемых для ЛА четвертого и пятого поколений при сохранении устойчивой работы ВСТ.

На основе проектировочных расчетов разработаны варианты многоступенчатых комбинированных ВСТ на основе СВТ, эффективно работающих во всем диапазоне высотно-скоростных характеристик. Расчет количества  $N$  ступеней производился по относительной температуре стержня  $q_{ст}$ . При выборе количества ступеней ВСТ определяющим является обеспечение условия:

$$q_{ст. рас} < q_{ст. тр},$$

где  $q_{ст. рас}$  – расчетное значение относительной температуры стержня;  $q_{ст. тр}$  – требуемое значение относительной температуры стержня.

Если соотношение  $q_{ст. рас} / q_{ст. тр} > 1,1$ , то устойчивую работу ВСТ обеспечивает одна СВТ. Если  $q_{ст. рас} / q_{ст. тр} < 1,1$ , то необходимо применять многоступенчатую схему. Диапазон допустимых температур стержня 273...293 К.

Располагаемая степень расширения  $\pi$  ВСТ является произведением степеней расширения  $\pi_i$  каждой ступени:

$$\pi = \pi_1 \cdot \pi_2 \cdot \dots \cdot \pi_m. \quad (1)$$

Температура  $T_m$  холодного потока после  $(m-1)$  ступеней ДВТ и на оси СВТ определяется по выражению:

$$T_m = \theta_{x1} \cdot \theta_{x2} \cdot \dots \cdot \theta_{x(m-1)} \cdot \theta_{oc} \cdot T_1^*, \quad (2)$$

где  $q_{xi}$  – соответствует величине  $\pi_i$ .

Температура потока на внешней поверхности стержня определяется по формуле

$$T_{rc}^* = T_1^* \cdot \theta_{ст}. \quad (3)$$

Оптимальной разбивкой [1] степени расширения газа по ступеням является равномерная разбивка

$$\pi_1 = \pi_2 = \dots = \pi^{\frac{1}{m}}. \quad (4)$$

На рис. 2 показана функциональная схема трехступенчатой комбинированной ВСТ.

Система содержит ступени I-III, в состав каждой из которых входит вихревая труба (I - СВТ, II и III – ДВТ1 и ДВТ2), входной клапан и соединительные патрубки. К выходам ДВТ второй и третьей ступеней подключены



Рис. 2. Функциональная схема многоступенчатой комбинированной ВСТ на основе СВТ и ДВТ

перепускные клапаны К4 и К5 для последовательного соединения ступеней в зависимости от режима работы ВСТ. На входе в ВСТ устанавливается управляемая заслонка УЗ, регулирующая площадь проходного сечения воздухозаборника.

В СВТ холодный воздух используется для охлаждения цилиндрического стержня, расположенного на оси трубы, а из ДВТ холодная компонента воздуха в зависимости от номера режима поступает либо на вход СВТ, либо через соответствующие клапаны на вход ДВТ соседней ступени.

При скоростях  $M \leq 1,4$  и высотах  $H = 0 \dots 23000$  м к УЗ подключается ступень с СВТ, с изменением скорости и высоты поле-

та для компенсации динамического нагрева к УЗ подключается ступень с наименьшими геометрическими размерами ДВТ, а затем с наибольшими. Режим работы ВСТ определяется автоматически по показаниям датчика температуры, расположенного на охлаждаемом стержне.

Управление положением заслонки может осуществляться двумя способами.

Первый способ: заслонка может находиться в двух положениях - полностью открытым или полностью закрытым. Положение заслонки определяется ВСХ полета летательного аппарата. При  $V_{\min} \leq V \leq V_{\text{пр}}$  заслонка полностью открыта и обеспечивает установленные режимы работы ВСТ. При  $V < V_{\min}$

и  $V > V_{пр}$  заслонка закрыта, так как при этих условиях ВСТ практически не работает.

Второй способ: плавное изменение положения заслонки от полностью закрытого до полностью открытого. Этот способ применяется при необходимости более точного поддержания температуры стержня.

Таблица 1 иллюстрирует алгоритм работы коммутирующего устройства (КУ), управляющего работой клапанов К1...К5 в соответствии с алгоритмом работы ВСТ при первом способе управления положением заслонки.

На рис. 3 показана функциональная схема устройства автоматического управления режимами работы ВСТ на основе СВТ по заданной температуре цилиндрического стержня приборного оборудования, находящегося на оси СВТ, при

фиксированном положении управляемой заслонки воздухозаборника.

Работа автоматики этой ВСТ основана на последовательном переборе режимов работы, обеспечивающих устойчивое функционирование данной системы.

Сигнал в виде напряжения  $U_c$ , снимаемый с датчика температуры, подается на два компаратора Ком.1 и Ком.2, на вторые входы которых поступают опорные напряжения  $U_{T1}$  и  $U_{T2}$ . Уровень  $U_{T1}$  соответствует нижней допустимой температуре стержня (273 К), уровень  $U_{T2}$  соответствует верхней допустимой температуре стержня (360 К). Если температура стержня  $T_c > 360$  К, то на выходе компаратора появляется сигнал  $U_{„1”}$ , который через ключ Кл. 1, управляемый генератором

Таблица 1. Режимы работы трехступенчатой ВСТ на основе СВТ

№ п.	Состояние клапанов (направление движения воздуха)					Функционирующие ВТ
	К1	К2	К3	К4	К5	
1	УЗ→СВТ	-	-	-	-	СВТ
2	ДВТ1→СВТ	УЗ→ДВТ1	-	-	ДВТ1→СВТ	СВТ+ДВТ1
3	ДВТ2→СВТ	-	УЗ→ДВТ2	ДВТ2→СВТ	-	СВТ+ДВТ2
4	ДВТ1→СВТ	ДВТ2→В1	УЗ→ДВТ2	ДВТ2→ДВТ1	ДВТ1→СВТ	СВТ+ДВТ1+ ДВТ2

Примечание: ДВТ N – подключение клапана к входу ДВТ (N=1,2); - клапан закрыт.

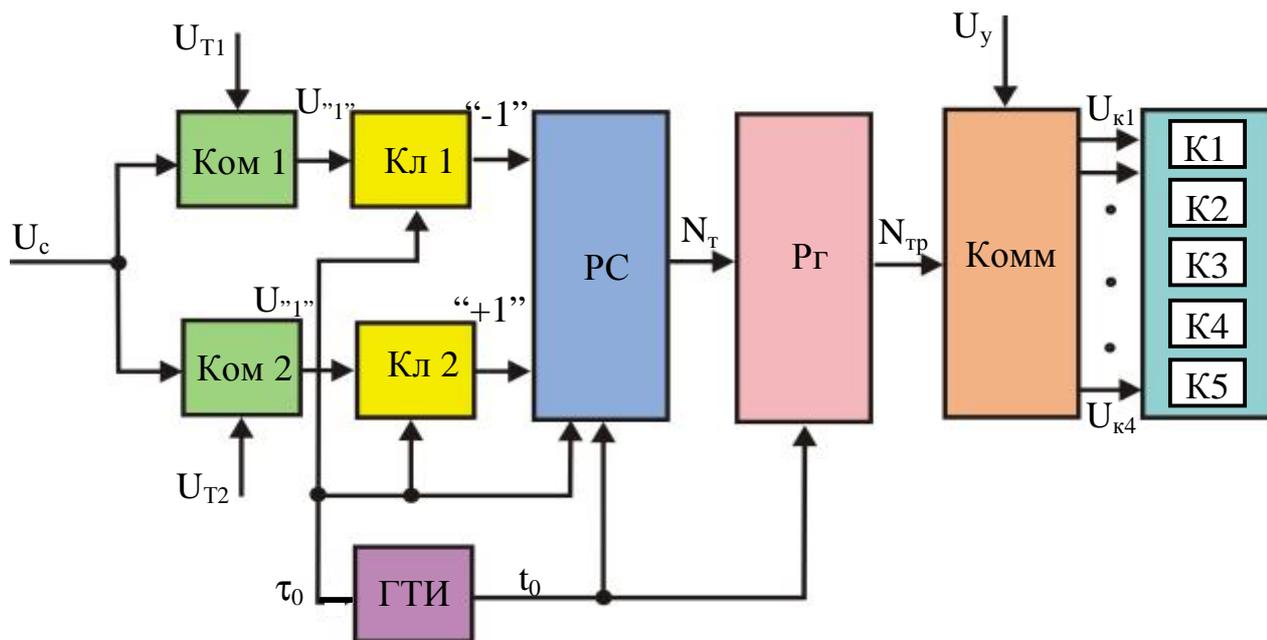


Рис. 3. Функциональная схема устройства автоматического управления режимами работы ВСТ

тактовых импульсов ГТИ, поступает в виде счетного импульса “-1” на вычитающий вход реверсивного счетчика РС. Если  $T_c < 273$  К, то сигнал  $U_{„1”}$  через Кл. 2 поступает в виде счетного импульса “1” на суммирующий вход реверсивного счетчика РС. Обнуленное (000) состояние реверсивного счетчика соответствует полностью закрытому положению заслонки воздухозаборника. При всех других состояниях РС заслонка находится в полностью открытом положении. РС производит счет импульсов от 000 до 110. Каждому состоянию РС, кроме обнуленного, соответствует один из пяти режимов работы ВСТ. Код  $N_{Tp}$  режима с выхода реверсивного счетчика заполняется в регистре  $P_r$ , который управляет работой коммутатора Комм. Коммутатор направляет сигналы  $U_y$  управления к клапанам (К1...К5) ВСТ. В зависимости от номера режима сигналы  $U_{к1}... U_{к4}$  управляют состоянием клапанов в соответствии с табл. 1. В схеме предусмотрена тактовая частота опроса регистра с периодом  $t_0$ . Таким образом,

если заслонка находится в закрытом положении, то это положение будет зафиксировано в течение всего цикла заполнения счетчика.

Если температура стержня находится в пределах нормы, то управляемая заслонка фиксируется в открытом положении, так как на выходах компараторов не формируются сигналы  $U_{„1”}$ . Вследствие роста температуры стержня происходит переполнение реверсивного счетчика, что соответствует переходу в нулевой режим, означающий закрытие заслонки воздухозаборника.

Многоступенчатая ВСТ на основе СВТ с системой автоматического выбора режима работы значительно расширяет диапазон работы по высотам и скоростям полета летательного аппарата с заданной точностью термостатирования температуры стержня, используемого в качестве теплоотвода.

Таблица 2 поясняет взаимосвязь режимов работы ВСТ на основе СВТ с показателями ВСХ. Режимы определены при заданной температуре стержня 273 К.

Таблица 2. Взаимосвязь режимов работы ВСТ на основе СВТ с показателями ВСХ

H км	M	р	1,04	1,16	1,49	1,66	1,86	2,22	2,50	3,34	5,50	7,44	8,00
		0,30	0,50	0,80	0,90	1,00	1,15	1,25	1,50	2,00	2,35	2,50	
0		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1		3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5		1	1	1	1	1	2	2	2	4	4	4	4
8		1	1	1	1	1	2	2	2	3	4	4	4
10		1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	4	4
12		1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	4	4
17		1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	4	4
20		-	-	1	1	1	1	2	2	3	4	4	4
25		-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	4	4

### Список литературы

1. Алексеенко В. П., Бирюк В. В., Леонovich Г. И., Лукачев С. В. Вихревые системы термостатирования. - Самара: Самарский научный центр РАН, 2005. - 179 с.
2. Меркулов А. П. Вихревой эффект и его применение в технике. - Самара, 1997. - 292 с.
3. Пиралишвили Ш. А., Поляев В. М., Вихревой эффект. Эксперимент, теория, тех-

нические решения. – М.: УНПЦ «Энергия», 2000. – 411 с.

4. Бирюк В. В. Применение вихревого эффекта разделения газов в конверсионных разработках // Материалы Всероссийской НПК. – Самара: СГАУ, 1994. - С. 10.

5. Серебряков Р. А., Бирюк В. В. Вихревой эффект энергетического разделения газов в системах охлаждения и кондициониро-

вания // Вестник МАИ. - №10. - 1994. - С. 33-34.

6. Мартынов А. В., Бродянский В. М. Что такое вихревая труба? - М.: Энергия, 1976.

7. Серебряков Р. А., Бирюк В. В. Практическое применение вихревого эффекта // Конверсия. - №10 - 1994. - С.19-20.

8. Алексеенко В. П. Математическое регулирование вихревых систем термостатирования // Физические основы эксперимен-

тального и математического моделирования процессов газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках: /Труды XIII Школы – семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева. - Санкт-Петербург, 2001. - С. 73-76.

9. Ranque G. L. Experiences sur la Detente Giratoire avec Productions. Simultanees sur la d'ur Echappement d'Air froid. Journal de Physique et le Ra-dium, Suppi, 1933. p. 112-115.