

ки, оптимизацию схемы обтяжки и устанавливает зависимости между входными и выходными данными управляемого технологического процесса. Схема последовательной обтяжки была апробирована на практике при получении оболочек сферической формы на модернизированном и автоматизированном обтяжном прессе РО-3М.

СТУПЕНЧАТАЯ ВИХРЕВАЯ СИСТЕМА ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ ПРИБОРНЫХ ОТСЕКОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Алексеев В.П., Бирюк В.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Холодопроизводящие возможности ВСТ ограничены диапазоном изменения параметров воздуха перед воздухозаборником при изменении высоты и скорости полета ЛА, а также геометрическими размерами и конструкцией ВТ, определяющими граничные условия устойчивой работы ВСТ. Так, например, при установке ВСТ на самолете типа МиГ-29, скорость и высота полета которого находятся в диапазоне $M = 0 \dots 2,5$ и $H = 0 \dots 25000$ м, температура $T_{вх}$, давление $P_{вх}$ и степень расширения π воздушного потока будут меняться в пределах: $T_{вх} = 487 \dots 234$ К; $P_{вх} = (2,51 \dots 0,135) 10^5$ Па; $\pi = 1,05 \dots 8,5$.

В этом диапазоне изменения входных параметров система на основе единичной типовой ВТ является неустойчивой, так как при скоростях $V < V_{\min}$, определяемых для конкретной высоты полета ЛА, вихревая труба не функционирует из-за низкого давления воздуха, а при скоростях выше некоторого предельного значения $V_{пр}$, определяемого геометрическими размерами трубы, имеет место ограничение или ухудшение (срыв) холодопроизводительности из-за динамического нагрева воздуха.

Для расширения диапазона устойчивой работы ВСТ разработана многоступенчатая (по числу ВТ) схема. В каждой из ступеней, отличающихся друг от друга геометрическими параметрами ВТ, воздух, подаваемый на вход в ВТ, является холодной компонентой потока от предыдущей ВТ. Холодный поток воздуха от последней ВТ поступает на охлаждение рабочего отсека. Отдельная ступень эффективно работает в относительно узком диапазоне высотно-скоростных характеристик (ВСХ). Подбором размеров ВТ 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 по пакетам прикладных программ «Rank-1» и «Raschet» разработаны варианты многоступенчатых

ВСТ, эффективно функционирующих в широком диапазоне высотно-скоростных характеристик. Расчет количества N ступеней проводился по относительной температуре Θ холодного потока в соответствии с известной методикой. Определяющим фактором при выборе ВСТ является обеспечение условия $\Theta_{\text{рас}} < \Theta_{\text{тр}}$, где $\Theta_{\text{рас}}$ и $\Theta_{\text{тр}}$ – расчетное и требуемое значения относительной температуры холодного потока. Если соотношение $\Theta_{\text{рас}}/\Theta_{\text{тр}} > 1,1$, то устойчивую работу ВСТ обеспечивает одна ВТ. Если $\Theta_{\text{рас}}/\Theta_{\text{тр}} < 1,1$, то необходимо применять многоступенчатую схему.

В частности, при $\Theta_{\text{рас}}/\Theta_{\text{тр}} = 0,82 \dots 0,91$ минимально необходимое число ступеней $N=3$. Расчеты проводились по определяющему выражению

$$\Theta_{\text{рас}} = \prod_{i=1}^N \Theta_{\text{cmi}}, \text{ где } \Theta_{\text{cmi}} - \text{относительная температура холодного потока на}$$

выходе i -ой ступени. Диапазон допустимых температур в рабочем отсеке $T = 330 \dots 360 \text{ К}$.

На рис.1 показана структурная схема трехступенчатой ВСТ. Система содержит ступени I-III, в состав каждой из которых входят вихревая труба (ВТ1...ВТ3), входной клапан и соединительные патрубки. К выходам ВТ второй и третьей ступеней подключены перепускные клапаны К4 и К5 для последовательного соединения ступеней по схеме, определяемой режимом работы. На входе ВСТ устанавливается управляемая заслонка УЗ, регулирующая площадь проходного сечения воздухозаборника. Воздух после УЗ поступает через клапаны К1...К3, управляемые коммутатором, на вход соответствующих ВТ.

С выходов ВТ холодная компонента воздуха в зависимости от номера режима поступает либо на выход системы, либо через соответствующий клапан на вход ВТ смежной ступени.

При малых скоростях и больших высотах к УЗ подключается ступень с минимальными размерами ВТ, у которой наименьшее значение V_{min} . С ростом скорости и снижением высоты плотность воздуха увеличивается. Для уменьшения динамического нагрева воздуха к УЗ будет подключаться ВТ с ббльшими геометрическими параметрами.

Последовательное соединение двух или трех ступеней сдвигает значение $V_{\text{пр}}$ в сторону увеличения, так как при сохранении исходных динамических характеристик потока в каждой ступени происходит отделение горячей компоненты. В результате к последней ступени направляется охлажденный поток с меньшей, чем в начале, скоростью. Режим работы определяется автоматически по показателям датчика температуры, установленного в рабочем отсеке. Кроме того, для повышения точности и динамики ВСТ, может учитываться давление воздуха после УЗ. В этом случае автоматика усложняется и функционирование ВСТ идет по некоторой заданной программе, составляемой под конкретный тип системы.

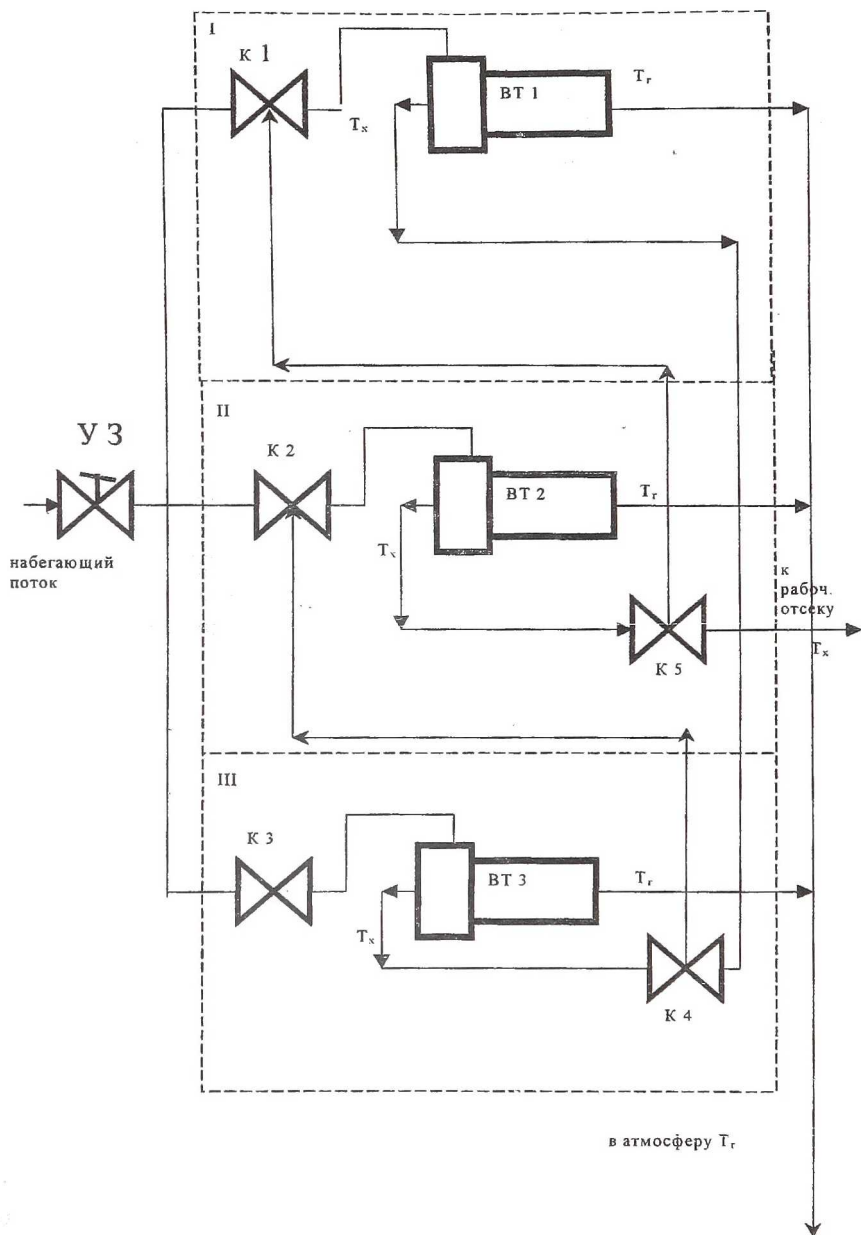


Рис.1. Структурная схема трехступенчатой ВСТ

Управление входным потоком воздуха может осуществляться в двух вариантах. При первом варианте заслонка полностью закрыта или открыта.

Положение заслонки определяется ВСХ полета ЛА. При $V_{пр} > V > V_{min}$ заслонка 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 функционирует. Кроме того, закрытие заслонки позволяет улучшить аэродинамические показатели самого ЛА.

Второй вариант работы ВСТ предусматривает управление положением заслонки, когда необходимо более точное поддержание заданной температуры в рабочем отсеке. Плавное управление потоком воздуха позволяет перейти от колебательного процесса при установлении стационарного режима охлаждения к апериодическому. Это целесообразно в том случае, когда полет происходит с большими динамическими диапазонами скорости и высоты полета ЛА.

Табл. 1 иллюстрирует алгоритм работы коммутирующего устройства (КУ), управляющего работой клапанов К1...К5 в соответствии с алгоритмом работы трехступенчатой ВСТ при первом варианте (с фиксированными положениями заслонки воздухозаборника).

Таблица 1

Режимы работы трехступенчатой ВСТ

№ реж.	Состояние клапанов (направление потока воздуха)					Функционирующие ВТ
	К1	К2	К3	К4	К5	
1	УЗ→ВТ1	-	-		-	ВТ1
2	-	УЗ→ВТ2	-	ВТ2→В	-	ВТ2
3	ВТ2→ВТ1	УЗ→ВТ2	-	ВТ2→ВТ1	-	ВТ1+ВТ2
4	-	-	УЗ→ВТ3	-	ВТ3→В	ВТ3
5	-	ВТ3→ВТ2	УЗ→ВТ3	-	ВТ3→ВТ2	ВТ2+ВТ3
6	ВТ2→ВТ1	ВТ3→ВТ2	УЗ→ВТ3	ВТ2→ВТ1	ВТ3→ВТ2	ВТ1+ВТ2+ВТ3

Примечание: ВТ N – подключение клапана к входу ВТ № N ($N=1,2,3$); «-» - клапан закрыт; В – выход.

На рис. 2 показана структурная схема устройства автоматического управления ВСТ по заданной температуре в приборном отсеке при фиксированных положениях заслонки воздухозаборника.

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

Схема работает следующим образом. Сигнал u_b , снимаемый с датчика температуры в рабочем отсеке, подается на первые входы двух компараторов К1 и К2, на вторые входы которых поступают опорные напряжения U_{T1} и U_{T2} . Уровни U_{T1} и U_{T2} соответствуют нижней (280°K) и верхней (360°K) допустимым границам температуры T в рабочем отсеке.

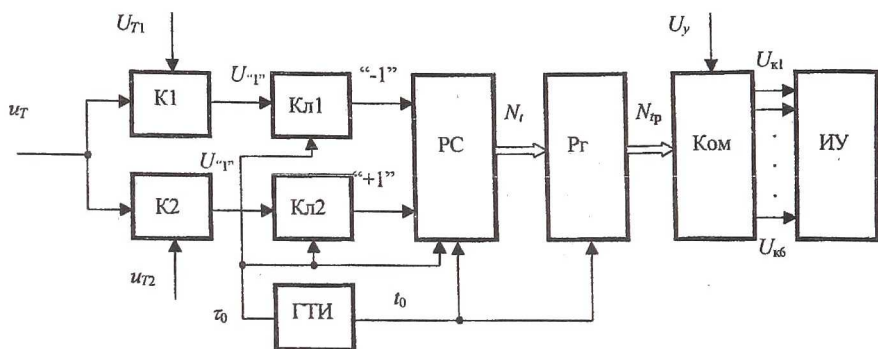


Рис.2. Структурная схема устройства автоматического управления режимами работы ВСТ

Табл. 2. поясняет взаимосвязь режимов работы ВСТ с показателями ВСХ (π - степень расширения воздушного потока после воздухозаборника; M - число Маха). Режимы определены при заданной температуре в рабочем отсеке, равной 288 К.

Таблица 2

Взаимосвязь режимов работы ВСТ с показателями ВСХ

π	1,04	1,16	1,49	1,66	1,86	2,22	2,50	3,34	5,50	7,44	8,00
M	0,30	0,50	0,80	0,90	1,00	1,15	1,25	1,50	2,00	2,35	2,50
0	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-
1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-
5	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-
8	-	2	2	2	2	2	2	2	3	-	-
10	-	-	2	2	2	2	2	2	2	-	-
12	-	-	2	2	2	2	2	2	2	3	-
17	-	-	-	4	4	4	4	4	5	6	-
20	-	-	-	-	-	4	4	4	4	5	6
25	-	-	-	-	-	-	-	-	4	5	6

Если температура $T > 360$ °К, то на выходе компаратора появляется сигнал $U_{«1»}$, который через ключ Кл1, управляемый от генератора тактовых импульсов ГТИ, поступает в виде счетного импульса “1” на вычитающий вход реверсивного счетчика РС.

Аналогично, если $T < 280$ °К, то сигнал $U_{«1»}$, с выхода компаратора К2 через ключ Кл2 поступает на суммирующий вход РС. Обнуленное (000) состояние реверсивного счетчика соответствует полностью закрытой заслонке воздухозаборника. При всех других состояниях РС заслонка открыта. Счетчик производит реверсивный счет импульсов от 000 до 110. Каждому состоянию РС, кроме обнуленного, соответствует один из шести режимов функционирования ВСТ. Код N_{Tp} режима с выхода счетчика запо-

минается в регистре R_r , который управляет работой коммутатора Ком, направляющего сигналы U_y управления к клапанам пневматической схемы ВСТ. В зависимости от номера режима сигналы $U_{K1} \dots U_{K6}$ управляют состоянием клапанов в соответствии с таблицей 1. В схеме предусмотрена тактовая частота опроса регистра с периодом t_0 , большая или равная значению времени переходного процесса в рабочем отсеке. Таким образом, если заслонка оказывается в закрытом состоянии, то ее положение будет зафиксировано в течение всего цикла заполнения счетчика.

Если температура в отсеке находится в пределах нормы, то состояние схемы управления фиксируются, так как на выходах компараторов не формируются сигналы $U_{«1»}$. Переполнение счетчика вследствие роста температуры в отсеке соответствует переходу в нулевой режим, что означает закрытие заслонки воздухозаборника.

Рассмотренная схема управления режимами ВСТ является простой и эффективной при невысоких требованиях к точности поддержания заданной температуры, так как при резких изменениях параметров полета ЛА суммарные задержки в схеме могут привести к кратковременному выходу температуры за пределы установленных допусков.

Многоступенчатая ВСТ с системой автоматического выбора режима работы существенно, в 1,5...3 раза, расширяет диапазон работы ВСТ по высотам и скоростям полета ЛА с заданной точностью термостатирования рабочих отсеков, в которых устанавливается прецизионная информационно-измерительная аппаратура, вычислительное и радиотехническое оборудование.

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ШУГООБРАЗНЫХ КРИОГЕННЫХ ТОПЛИВ

Арсланова С.Н.

Казанский государственный технический университет, г. Казань

Свойства топлива в значительной мере определяют конструкцию, экономичность эксплуатации и экологические характеристики различных видов транспорта. При использовании альтернативных топлив на основе сжиженного водорода (ЖВ) и сжиженного природного газа (СПГ) возникает ряд проблем, связанных с низкой плотностью таких топлив и существенными потерями при испарении за счет внешнего теплопритока.

Характеристики систем хранения, передачи и использования криогенных топлив можно существенно улучшить, если перевести топливо в