

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

В.С. Владимиров, В.П. Строгалева,
И.О. Толкачева

БОРТОВЫЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Часть 1

**Бортовые источники рабочего тела
на холодном газе**

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана
в качестве учебного пособия*

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
2011

УДК 629.7.064(075.8)

ББК 39.56

В57

Рецензенты: *В.Е. Смирнов, А.И. Максимов*

Владимиров В.С.

В57 Бортовые газодинамические исполнительные системы летательных аппаратов. Ч. 1: Бортовые источники рабочего тела на холодном газе : учеб. пособие / В.С. Владимиров, В.П. Строгалева, И.О. Толкачева. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 45, [3] с. : ил.

В первой части учебного пособия описаны устройство и функционирование бортовых источников питания, работающих на холодном газе, изложены основы их расчета и проектирования.

Для студентов, изучающих дисциплины «Проектирование бортовых исполнительных систем» и «Проектирование энергетических установок ракетного оружия». Также будет полезно аспирантам и преподавателям, ведущим аудиторные занятия по этим дисциплинам.

УДК 629.7.064(075.8)
ББК 39.56

ВВЕДЕНИЕ

В системах управления современных летательных аппаратов (ЛА) широко применяются газодинамические силовые следящие приводы и пневматические системы различного назначения. Задачей силовых приводов является перемещение органов управления ЛА по заданному закону с заданной точностью, а задачей пневматических систем — создание управляющих моментов, прикладываемых к ЛА, преобразование энергии сжатого газа в энергию других видов (например, в электрическую) или выполнение ряда вспомогательных функций (расстыковка ступеней ракеты, раскрытие крыльев или оперения, отсечка тяги ракетного двигателя на твердом топливе, отстрел или передвижение элементов конструкции ЛА и др.).

Для обеспечения работы систем управления ЛА, в которых используются газодинамические приводы и другие виды управляющих пневматических исполнительных устройств (газореактивные системы управления и стабилизации, преобразователи энергии, вспомогательные системы управления и др.), требуется наличие на борту ЛА источника (источников) рабочего тела — сжатого газа. При проектировании таких систем необходимо учитывать наличие источника сжатого газа (ИСГ) и системы газообеспечения потребителей (СГП) в целом.

В настоящее время применительно к ЛА разрабатывают ИСГ на основе газообразного, жидкого или твердого первичного вещества.

Подробное изложение материалов по вопросам устройства, функционирования, областей применения, расчета и проектирования источников рабочего тела на горячем газе (твердотопливных генераторов и жидкостных газогенераторов на однокомпонентном жидком топливе) приведено в частях 2 и 3 учебного пособия «Бортовые газодинамические исполнительные системы летательных аппаратов»^{*}. Настоящее учебное пособие (часть 1) посвящено рас-

^{*} *Владимиров В.С., Королев А.А., Никитина И.Е.* Бортовые газодинамические исполнительные системы летательных аппаратов. Ч. 2: Бортовые источники рабочего тела на горячем газе. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002; *Владимиров В.С., Строгалев В.П., Толкачева И.О.* Бортовые газодинамические системы летательных аппаратов. Ч. 3: Бортовые источники рабочего тела на однокомпонентном жидком топливе. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.

смотрению вопросов расчета и проектирования источников рабочего тела на холодном газе.

Системы управления с использованием холодного сжатого газа в качестве рабочего тела являются самыми простыми и надежными из всех известных систем, в связи с чем они находят достаточно широкое применение на различных типах ЛА, в частности, они используются на космических ЛА в качестве газореактивных (газоструйных) систем управления полетом и стабилизации.

Несмотря на то что рассматриваемой теме посвящено достаточно большое количество работ, до настоящего времени не существует необходимого для изучения ряда разделов дисциплины «Проектирование бортовых газодинамических исполнительных систем» систематизированного материала по вопросам расчета и проектирования источников рабочего тела и СГП на холодном газе. Опубликованные в семидесятых и восьмидесятых годах прошлого столетия материалы разобщены, имеют узкоспециализированный или отрывочный характер и методически неоднородны.

В данном учебном пособии сделана попытка систематизированно изложить опубликованные ранее материалы об устройстве, о функционировании, об областях применения, о преимуществах и недостатках бортовых источников рабочего тела на холодном газе, о расчете и проектировании СГП на холодном газе, а также об анализе энергомассовых характеристик бортовых источников рабочего тела и систем управления на холодном газе.

1. ИСТОЧНИКИ РАБОЧЕГО ТЕЛА (ГАЗА) БОРТОВЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

1.1. Основные сведения о системах газообеспечения

Система газообеспечения потребителей состоит из источника сжатого газа, арматуры, приборов и устройств, обеспечивающих транспортировку газа ко входу исполнительных устройств и управление параметрами газового потока.

Для большинства автономных систем управления ЛА масса и габариты СГП определяют выбор типа привода, да и всей системы

управления в целом, особенно в тех случаях, когда система управления работает в течение длительного времени.

В связи с этим приходится проектировать ИСГ с минимально необходимым запасом энергии, однако уменьшение запаса энергии при неизменном времени работы системы ведет к уменьшению располагаемой мощности ИСГ. При соизмеримости мощностей конечных потребителей и ИСГ начинает проявляться их взаимное влияние; особенно это сказывается в динамических процессах.

Обоснованный выбор мощности ИСГ подразумевает знание расходных характеристик потребителей сжатого газа и зависимость этих характеристик от режимов работы исполнительного устройства или группы исполнительных устройств потребителей.

Исходными данными при выборе или проектировании ИСГ являются давление газа на входе в привод (исполнительное устройство) p_z ; входной расход привода G_z ; допустимая температура газа на входе в привод T_z ; время работы привода t_p ; изменение условий окружающей среды; зависимость входного расхода G_z от режимов работы привода; режим работы привода.

Как известно, масса и габариты СГП определяются в основном массой и габаритами ИСГ.

Режим работы привода или группы приводов, подключенных к данному ИСГ, заранее не известен. При этом его характеристики являются случайной функцией времени. Отметим также, что привод может работать в режимах, существенно различающихся по потребляемой мощности, например в режиме управления и в режиме стабилизации. Кроме того, оказывается целесообразным использовать для питания нескольких приводов один ИСГ, поскольку при этом из системы управления исключаются автоматические устройства синхронизации работы ИСГ.

Отметим, что требуемая для нормального функционирования системы управления масса газа m_r не зависит от вида ИСГ и природы первичного вещества, из которого получается сжатый газ в ИСГ.

1.2. Рабочие тела бортовых газодинамических исполнительных систем

Необходимое количество газа хранится или создается в ИСГ. В настоящее время применительно к ЛА разрабатываются ИСГ на основе газообразного, жидкого или твердого первичного вещества.

Объем ИСГ при известной массе газа m_T зависит от плотности первичного вещества. В табл. 1 приведены данные о плотности первичного вещества, а также диапазоны значений давления и температуры газа.

Таблица 1

Основные характеристики используемых для ИСГ рабочих тел

Первичное вещество	Плотность первичного вещества, г/см ³	Рабочее давление газа, МПа	Температура газа, К
Газообразное (сжатый воздух при рабочем давлении)	0,120...0,606	10...50	223...323
Жидкое:			
гидразин	0,997...1,110	2...4	1073...1340
перекись водорода	1,367...1,443	2...4	966...975
Твердое (порох)	1,60...1,65	2...9	1600...3000

Из табл. 1 следует, что наименьший объем имеет твердое первичное вещество, наибольший — газообразное первичное вещество.

Указанная в табл. 1 температура газа для сжатого газа определяется температурой в баллоне, для жидких и твердых топлив — температурой в камере разложения или в зоне горения.

Рабочее давление для газообразного первичного вещества определяется давлением в баллоне; от этого давления зависит также плотность первичного вещества. Для жидкого первичного вещества давление определяется давлением вытеснения жидкости, значение которого выбирают с учетом входного давления привода p_z . Рабочее давление в пороховых газогенераторах определяется диапазоном устойчивого горения порохов.

Наиболее часто в качестве рабочего тела в СГП на холодном газе используют сжатый воздух. Все испытания пневматических приводов и исполнительных устройств также проводят на сжатом воздухе. В системах автоматического управления ЛА рабочее давление на входе привода составляет $p_z = 1...3$ МПа при начальном давлении в баллоне 25...35 МПа.

Пороховые газы получают при сжигании пороховых составов в специальных газогенераторах (твердотопливных газогенерато-

рах — ТТГГ). Температура газа в зоне горения составляет 1600...2500 К. Вследствие тепловых потерь в газовом тракте к исполнительному устройству пороховой газ приходит с температурой 1000...1500 К. Рабочее давление пороховых газов лежит в диапазоне 2...9 МПа, а в пиротехнических устройствах верхняя граница диапазона может достигать 50 МПа.

Особенностью пороховых газов кроме их высокой температуры является наличие в них твердых частиц и смолистых составляющих. Для их улавливания устанавливают специальные фильтры. Элементы конструкций, соприкасающиеся с горячими газами, необходимо выполнять из жаропрочных сплавов.

«Чистый» горячий газ получают при каталитическом разложении некоторых жидкостей, например гидразина или перекиси водорода. Системы газообеспечения потребителей на основе гидразина достаточно часто применяются в автономных системах управления на борту космических ЛА. Относительно высокая температура газа связана с большим выделением теплоты при разложении гидразина (при разложении 1 кг гидразина образуется 2,9 м³ газа при температуре 1000 К).

В табл. 2 приведены основные термодинамические характеристики некоторых газов, используемых или вырабатываемых в ИСГ.

Таблица 2

Основные термодинамические характеристики рабочих тел

Газ (рабочее тело)	Отношение теплоемкостей c_p / c_v	Удельная газовая постоянная R , Дж / (кг · К)
Азот	1,40	296,6
Водород	1,41	4121
Воздух	1,40	286,7
Гелий	1,66	2077
Метан	1,32	518
Аммиак	1,32	488
Пороховые газы	1,12...1,25	340...380
Продукты разложения гидразина	1,30	330

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Источники рабочего тела (газа) бортовых газодинамических исполнительных систем летательных аппаратов	4
1.1. Основные сведения о системах газообеспечения.....	4
1.2. Рабочие тела бортовых газодинамических исполнительных систем	5
1.3. Виды источников сжатого газа и области их применения	8
2. Источники рабочего тела на холодном газе — аккумуляторы давления	11
2.1. Системы газообеспечения на холодном газе	11
2.2. Пневмоаккумуляторы давления.....	20
2.3. Расчет параметров газа в емкости при ее опорожнении.....	27
2.4. Анализ энергомассовых характеристик систем газообеспечения на холодном газе	31
2.5. Примеры расчетов пневмоаккумуляторов давления	37
Литература	45