

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОРТОВЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Достовалова С.С., Заика С.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет,
Самара, Российская Федерация

На борту современных летательных аппаратов используется большое количество оптико-электронных систем и устройств. Лазерные дальномеры, прицелы, системы наведения, гироскопы – вот далеко не полный перечень устройств, основным элементом которых является оптико-электронный прибор. Для эффективной работы им требуются определенные температурные режимы.

Существует множество систем охлаждения разной степени совершенства, которые удовлетворяют тем или иным техническим требованиям. Основными параметрами, которыми отличаются аэрокосмические системы охлаждения от промышленных или систем наземного применения, являются:

- минимально возможная масса;
- минимально возможная потребляемая мощность,
- высокая надёжность, исключающая необходимость ремонта.

Степень совершенства бортовых систем охлаждения в значительной мере определяет возможности аэрокосмической техники, потому что подобные системы нередко применяют на летательных аппаратах с крайне ограниченными техническими характеристиками: энергетическими ресурсами, лимитированием по массе и габаритным размерам.

Криоэлектронные приборы можно классифицировать по следующим признакам:

- по температуре криостатирования – на приборы с гелиевым (до 15 К), неонов-водородным (до 70К) и азотным (свыше 70 К) уровнями охлаждения;
- по величине тепловой нагрузки – приборы с малым внутренним тепловыделением и незначительной массой охлаждаемых элементов (ИК-приёмники), со значительным тепловыделением, но малой теплоёмкостью элементов (полупроводниковые квантовые генераторы – ПКГ) и, наконец, с относительно большой массой и теплоёмкостью охлаждаемых элементов, но малыми внутренними тепловыделениями (СВЧ – приборы).

ИК-приёмники – глубоко охлаждаемые приёмники инфракрасного излучения, являются одним из основных элементов оптико-электронных систем. Высокая эффективность работы ИК-приёмников обеспечивается охлаждением до температуры 77К и ниже.

Обеспечение охлаждения до криогенных уровней температуры ИК – приёмников, элементов оптических систем и других устройств, устанавливаемых на летательных аппаратах, – важнейшее требование, предъявляемое ко многим авиационным и космическим проектам.

Существенная особенность фотоприёмников – незначительные тепловыделения $Q_{\text{в}}$ в чувствительном элементе. Требования к стабильности температуры криостатирования для большей части приборов этого типа достаточно просты

(за исключением сверхпроводниковых болометров, а также фотоприёмников, в которых регламентируется уровень низкочастотных шумов).

Весьма близки к фотоприёмникам по конструкции полупроводниковые лазеры и светодиоды. Главное отличие их с криотехнической точки зрения состоит в том, что на активном элементе лазера, установленном обычно в той же зоне прибора, что и фоточувствительный элемент приёмника, выделяется значительная тепловая мощность до 10–20 Вт на один канал. Эта особенность полупроводникового лазера требует тщательной оценки условий теплообмена в зоне активного элемента и ограничивает выбор возможных вариантов систем охлаждения.

Криозлектронные СВЧ – устройства в конструктивном отношении представляют собой самостоятельную категорию низкотемпературных приборов, отличающихся в первую очередь относительно большими значениями теплопритоков Q_T^* и $C_{пр}$; это связано со значительными размерами криостатов, в которых размещены охлаждаемые СВЧ–блоки, заметными теплопритоками по волноводам и другим устройствам для ввода СВЧ–сигнала, а также существенно большей, чем в ИК–приёмниках и полупроводниковых лазерах, массой охлаждаемых узлов.

Во многих случаях конструкция приборов этого типа не позволяет установить микрокриогенную установку в непосредственной близости от охлаждаемого объекта и осуществить локальное охлаждение активного элемента (например, диода в параметрическом усилителе), что вызывает дополнительные потери холода.

Для захлаживания бортовых систем охлаждения могут быть использованы следующие способы и охладители:

- забортный воздух с температурой до -40°C и ниже (для авиационных систем);
- использование теплоты фазового перехода, запасённого на борту жидкого или твердого криоагента;
- термомеханические охладители, работающие по обратному циклу (парокомпрессионные холодильные машины, ГKM Стирлинга, Такониса, пульсационные охладители);
- дроссельные системы охлаждения, работающие от газа высокого давления, запасённого в баллонах;
- вихревая система охлаждения, с делящей или самовакуумирующейся вихревой трубой, работающая на воздухе с давлением до 0,6 МПа, поступающего от двигателя самолёта;
- термоэлектрические системы охлаждения, основанные на эффекте Пельтье.

В таблице 1 представлен сравнительный анализ приведённых способов охлаждения.

На основании проведённого анализа современных систем охлаждения аэрокосмического назначения следует, что энергопотребление, масса, габаритные размеры и длительность работы являются важнейшими их техническими характеристиками.

Кроме того, можно сделать следующие выводы:

- наиболее приемлемыми для уровней термостатирования 80 К являются ГKM Стирлинга, дроссельные системы охлаждения на сжатых газах и испарительные системы охлаждения на жидких криоагентах;

Таблица 1

№	Способы захлаживания	Преимущества	Недостатки
1	Забортный воздух	Простота	Зависимость от высоты и скорости самолёта
2	Жидкий криоагент	Простота системы; высокий потенциал холодопроизводительности	Невозможность длительного наземного хранения. Необходимость запаса на борту количества криоагента, соответствующего времени работы комплекса. Сложность подачи рабочего тела при эволюциях и перегрузках
3	ГКМ Стирлинга	Возможность получения температуры охлаждения в широком диапазоне до 80К. Возможность использования для ИК-систем	Сложность ГКМ. Относительно небольшой ресурс. Высокая стоимость
4	Дроссельные системы охлаждения	Простота. Наличие серийных систем. Универсальность применения для бортовых систем	Существенная масса баллонов. Изменение температуры дросселирования
5	Вихревой эффект	Простота конструкции. Регулирование. Малая масса	Давление воздуха 6 атм., ограничение по температуре охлаждения
6	ТЭО	Простота в эксплуатации	Низкая эффективность. Организация теплосъёма с горячих спаев

- для космических систем охлаждения с длительным ресурсом работы используются газовые криогенные машины;
- для бортовых авиационных систем используются все три типа системы охлаждения, включая испарительные;
- дроссельные системы охлаждения разомкнутого типа имеют минимально возможное энергопотребление и максимальную надёжность;
- дроссельные баллонные системы охлаждения достигли предела своего совершенства;
- основным элементом, определяющим габариты системы охлаждения в баллонной дроссельной системе, а также и в испарительной системе, является ёмкость для хранения рабочего тела;
- в поле характеристик системы охлаждения между дроссельными баллонными системами и испарительными существует область, предполагающая совмещение преимуществ испарительных и дроссельных баллонных систем охлаждения;
- создание баллонной дроссельной системы охлаждения, работающей на рабочем теле с околоскритическими параметрами, позволит получить систему с улучшенными режимно-параметрическими и эксплуатационными показателями.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Довгялло, А.И. Аэрокосмические бортовые криогенные системы охлаждения / А.И. Довгялло, С.О. Некрасова, Д.В. Сармин, А.А. Шиманов, А.Б. Цапкова, Д.А. Угланов; М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Самара, 2013.
2. Архаров, А.М. Криогенные системы: основы теории и расчёта [Текст] / А.М. Архаров. – М.: Машиностроение, 1988. – 464 с.