

## Современные методы обеспечения температурной стабильности датчиков космической техники

Пакулько С.Ю.

Научный руководитель: Белянин Л.Н., к.т.н., доцент кафедры ТПС  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: pasoolkos@tpu.ru

На сегодняшний день в мире существует большое количество космических программ по созданию разнообразной космической техники (КТ). На борту этой техники должно быть расположено большое количество датчиков. В независимости от назначения КТ она, как правило, должна иметь системы навигации и ориентации, связи и энергопитания. Даже в этом малом количестве необходимых систем используется множество датчиков. Помимо необходимых систем в КТ используются специальные системы, которые выполняют функции, в соответствии с её назначением. Например, простейший спутник связи должен иметь специальную систему ретрансляции.

Существующее множество систем КТ используют самые различные датчики, созданные человечеством за последнее время. Эти датчики подвергаются воздействиям возмущающих факторов на всех этапах эксплуатации. В ГОСТ РВ 20.39.304-98 «Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования стойкости к внешним воздействующим факторам» указаны требования к аппаратуре космической техники по устойчивости к внешним воздействующим факторам. Приведенные факторы имеют различные значения в зависимости от группы бортовой аппаратуры КТ и этапа её эксплуатации. Назначение и условия эксплуатации аппаратуры определяют её принадлежность к одной из четырёх групп (5.1 – 5.4).

КТ эксплуатируется как в наземных условиях, так и в космических. На Земле КТ подвергается возмущающим воздействиям на этапах испытаний, транспортировки и хранения. К космическим условиям относят возмущающие воздействия на следующих этапах эксплуатации: выведение на орбиту; орбитальный полет; старт с промежуточной орбиты; полет по трассе; ориентация, маневры, коррекция, стыковка на орбите или трассе; торможение, спуск, посадка; работа на поверхности планет Солнечной системы и Луны; старт с планет Солнечной системы и Луны.

Помимо естественных факторов возмущающих воздействий для аппаратуры КТ будут иметь место и техногенные воздействия. Последние могут самогенерироваться, либо исходить от другой близко расположенной КТ. Например, в [1] выделяют техногенное воздействие плазменных двигателей КТ.

В данной работе акцент ставится на рассмотрении тепловых возмущающих воздействий в условиях космоса, а также методов и средств борьбы с этими воздействиями. Необходимость рассмотрения этого вопроса возникла в рамках работы по созданию системы термостатирования узла чувствительных элементов скважинного прибора. Проведенный обзор позволит:

- сравнить тяжёлые условия эксплуатации КТ и скважинных приборов;
- оценить возмущающие факторы, влияющие на процессы теплообмена;
- перенять опыт разработчиков методов и средств борьбы с тепловыми возмущениями;
- оценить возможность применения этих методов и средств в области скважинного приборостроения;
- рассмотреть возможность применения для узлов КТ разрабатываемой системы термостатирования.

При разработке любой технической системы приходится уделять внимание вопросу теплового режима этой системы. Тепловой режим системы, прибора, датчика или любого другого элемента характеризуется его температурным полем. Для надежной работы системы

с соблюдением заложенных в неё характеристик должен быть обеспечен нормальный тепловой режим.

Нормальным тепловым режимом технической системы будем называть такой режим, при котором температуры всех материалов, компонентов, включая датчики, при всех условиях эксплуатации и при всех режимах работы, указанных в техническом задании на разработку, не выходят за допустимые пределы, приведённые в технических условиях (ТУ) на эти материалы и компоненты.

Тепловой режим системы будет зависеть от воздействующих факторов, теплофизических свойств материалов и компонентов системы, их пространственного расположения, условий их взаимного контактирования, а также от создаваемых ими тепловозмущений.

Тенденции развития современной КТ направлены на улучшение массогабаритных показателей, снижение энергопотребления, многофункциональность, удешевление и увеличение скорости разработки и производства. Такие тенденции привели разработчиков к новому принципу построения КТ в негерметизированном исполнении. Аппаратура такой КТ относится к группам 5.3 и 5.4 по ГОСТ РВ 20.39.304-98. В таблице 1 приведены тепловые воздействующие факторы космических условий для этих групп аппаратуры.

Таблица 1 – Тепловые воздействующие факторы в космических условиях

Воздействующий фактор	Характеристика воздействующего фактора	Значение воздействующего фактора	
		5.3	5.4
Повышенная температура среды	Рабочая, °C (K)	50 (323)	125 (398)
	Предельная, °C (K)	60 (333)	125(398)
Пониженная температура среды	Рабочая, °C (K)	Минус 50 (223)	Минус 150 (123)
	Предельная, °C (K)	Минус 50(223)	Минус 150 (123)
Солнечное излучение	Интегральная плотность потока, Вт/м <sup>2</sup>	–	1400

Для более тщательного изучения теплового режима также необходимо учитывать специфические воздействующие факторы: излучения со стороны объектов Солнечной системы, техногенные факторы, физические и химические факторы среды. Например, мощность теплового излучения Земли составляет 225 Вт/м<sup>2</sup> [2].

Для оценки теплового режима систем, приборов, датчиков необходимо создать модель тепловых процессов, смоделировать возмущающие факторы и погрешности. Далее можно переходить к постановке задач анализа и синтеза систем обеспечения теплового режима [3].

Системой обеспечения теплового режима (СОТР) будем называть устройство или совокупность устройств, предназначенных для достижения нормального теплового режима контролируемой технической системы. Устройства СОТР могут работать на разных физических и химических принципах. По энергопотреблению все эти устройства можно разделить на активные и пассивные. По функциональному признаку – на теплопроводящие, теплоизолирующие, устройства сброса тепла, нагревательные и охлаждающие.

Приведем несколько примеров устройств из [4], которые могут применяться в СОТР современной КТ. В качестве теплопроводящих устройств могут применяться кондуктивные системы охлаждения, теплообменники и тепловые трубы. Для сброса тепла – радиационные системы охлаждения. В качестве охлаждающих устройств – испарительные системы охлаждения, вихревые трубы, расширительные газовые машины и термоэлектрические устройства. Помимо приведенных примеров используются теплоизолирующие устройства экранирования и электрические нагревательные устройства [2]. Также будет иметь место применение устройств: инфракрасного излучения, преобразования механической энергии в

тепловую (например, за счёт трения), на основе экзотермических и эндотермических химических реакций.

В аппаратуре КТ обязательно будут присутствовать источники тепловых возмущений. Источники тепловыделений будут располагаться внутри КТ, а лишаться тепла КТ будет за счёт излучений с её открытых наружных поверхностей. Также значительная часть тепла будет передаваться на КТ за счет поглощения электромагнитных излучений от Солнца и других тел Солнечной системы. Таким образом, построение высокоэффективной СОТР современной КТ сводится к следующим тенденциям:

- увеличение площадей открытых наружных поверхностей путём использования устройств радиационного излучения – космических радиаторов;
- использование материалов для построения космических радиаторов с высокой лучеиспускательной способностью;
- обеспечение высокой теплопроводности от источников тепла и наружных поверхностей, поглощающих внешние излучения, до космического радиатора;
- уменьшение площадей поглощающих поверхностей и (или) применение наружных материалов с низкой поглощательной способностью.

В рамках этих тенденций были рассмотрены системы со стационарными космическими радиаторами [5], с разворачивающимися раздвижными космическими радиаторами [6], системы каскадных тепловых труб [7], плоские тепловые трубы [8].

В отличие от скважинных условий эксплуатации в космосе отсутствует материальная среда, что не позволяет использовать более эффективные (конвективные) устройства сброса тепла. Однако отсутствие существенных габаритных ограничений КТ позволяет организовывать сброс тепла с поверхности достаточно большой площади. Для скважинного прибора существуют значительные габаритные ограничения. Тепловое воздействие на скважинный прибор будет вызвано в основном температурой окружающей среды. По этому показателю скважинные условия могут быть даже более тяжелыми, чем космические.

#### Список литературы:

1. Максимов, И.А. Проблемы обеспечения надежного функционирования современных космических аппаратов в условиях дестабилизирующего воздействия факторов космического пространства и факторов техногенного характера / И.А. Максимов // Вестник Сибирского государственного университета имени академика М.Ф. Решетнева. – 2010. – № 4 (30). – с. 100 – 101.
2. Цаплин, С.В., Большев, С.А. Система обеспечения теплового режима экспериментальной модели оптико-телескопического комплекса космического аппарата / С.В. Цаплин, С.А. Большев // Вестник СамГУ – Естественнонаучная серия. – 2013. – № 9/2 (110). – с. 236 – 243.
3. Датчики, приборы и системы авиакосмического и морского приборостроения в условиях тепловых воздействий / В.Э. Джашитов, В.М. Панкратов / Под общ. ред. Академика РАН В.Г. Пешехонова. – Спб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2005. – 404 с.
4. Дульнев, Г.Н. Тепло - и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре: Учебник для вузов по спец. «Конструир. и произв. Радиоаппаратуры». – М.: Высш. шк., 1984. – 247 с.
5. Семена, Н.П., Коновалов, А.А. Методы создания механизмов саморегулирования пассивных систем обеспечения теплового режима устройств космического применения / Н.П. Семена, А.А. Коновалов // Теплофизика и аэромеханика. – 2007. – № 1. – с. 87 – 98.
6. Leach, J.W., Cox, R.L. Flexible deployable-retractable space radiators / J.W. Leach and R.L. Cox // Heat transfer and thermal control systems / Edited by Leroy S. Fletcher. – New York, 1978. – p. 243 – 262.
7. Steele, W.H., McKee, H.B. A precise satellite thermal control system using cascaded heat pipes / W.H. Steele and H.B. McKee // Heat transfer and thermal control systems / Edited by Leroy S. Fletcher. – New York, 1978. – p. 325 – 343.

8. Деревянко, В.А., Нестеров, Д.А., Косенко, В.Е., Звонарь, В.Д., Чеботарев, В.Е., Фаткулин, Р.Ф., Сунцов, С.Б. Плоские тепловые трубы для отвода тепла от электронной аппаратуры в космических аппаратах / В.А. Деревянко, Д.А. Нестеров, В.Е. Косенко, В.Д. Звонарь, В.Е. Чеботарев, Р.Ф. Фаткулин, С.Б. Сунцов // Вестник СибГАУ. – 2013. – № 6(52). – с. 111 – 116.

### **Экспериментальные исследования характеристик макета электродвигателя с массивным ферромагнитным ротором**

Плеханов М.С.

ЗАО «Томский приборный завод», 634040, г. Томск, ул. Высоцкого, 28, стр. 3

E-mail: plehanovms@tpu.ru

Принцип работы электрической машины с массивным ферромагнитным ротором основан на взаимодействии вихревых токов, наведенных на поверхности ротора, с электромагнитным полем статора [1]. В гироскопических приборах такая конструкция гиродвигателя является наиболее простой и обеспечивает хорошие характеристики запуска, а в некоторых случаях является единственно возможной – в частности, в гироскопах с газодинамическими опорами ротора. Такой выбор конструкции обусловлен малым временем разгона ротора для создания в приборе режима газовой смазки и большого пускового момента для преодоления момента сухого трения в первоначальный момент времени [2].

Экспериментальные исследования характеристик электродвигателя с массивным ферромагнитным ротором необходимы для оценки разгона и выбега ротора, построения механической характеристики. Для экспериментальных исследований изготовлен макет электродвигателя такого типа со статором серийного синхронного гистерезисного гиромотора с газодинамическими опорами ротора.

Макет электродвигателя запитывается трехфазным напряжением 40 В, 1000 Гц, от пульта КИП722–42, для измерения пусковых и номинальных токов в цепь каждой фазы включены амперметры *mA*, контроль ЭДС статорных обмоток осуществляется по осциллографу, подключенному к одной из фаз. Контроль разгона и выхода на номинальный режим осуществляется при помощи двухфазного управляемого двигателя АДП–402, обмотка возбуждения которого подключена к источнику напряжения переменного тока 24 В, 1000 Гц. При вращении массивного ротора жёстко закрепленного на валу двигателя, вихревые токи наведенные на роторе АДП-402 от обмотки возбуждения, будут наводить ЭДС на обмотке управления, кратную скорости вращения массивного ротора. В номинальном режиме, когда скорость ротора установится в постоянное значение она измеряется строботаксометром. Таким образом, экспериментальная установка позволяет исследовать характеристики разгона и выбега массивного ротора, определить его электрические характеристики. Общий вид экспериментальной установки показан на рисунке 1.

На рисунке 2 представлены результаты исследования разгона и выбега привода с ротором диаметром 32 мм. Результаты моделирования и экспериментального исследования приведены в таблице 1 [3, 4].