

УДК 621.5

С. А. Засуха¹, А. Л. Макаров², Н. И. Лихолит³, Л. П. Семенов¹, Ю. А. Меленевский⁴, В. Т. Архипов⁴

¹ Державне космічне агентство України, Київ

² Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», Дніпропетровськ

³ Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал», Київ

⁴ Науково-технічний центр криогенно-космічних технологій «Кріокосмос», Харків

ОСОБЕННОСТИ КРИОГЕННЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДЕТЕКТОРОВ ИК-СКАНЕРОВ ДЛЯ МИКРОСПУТНИКОВ

Рассмотрены различные системы охлаждения приемников ИК-сканера, предназначенного для работы в повторно-кратковременном режиме на борту малых ИСЗ. Показано, что одним из вариантов системы криостатирования сканера может быть схема с аккумулятором испарения, позволяющая охлаждать детекторы в пассивном режиме, т. е. при работающей газовой криогенной машине (ГКМ). Такая система требует дополнительных масс и энергопотребления, но позволяет разнести во времени работу ГКМ и собственно ИК-сканирование. Рассмотрены особенности работы системы тепловода от ГКМ на малых ИСЗ, работающих на солнечно-синхронной орбите.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений современных систем космического мониторинга земной поверхности является ее многоспектральная видеосъемка с малых ИСЗ. Особый интерес представляет инфракрасный диапазон спектра, характерный тем, что в нем можно использовать собственное излучение земной поверхности и проводить наблюдения на ночной и вечерней поверхности Земли в окне прозрачности атмосферы 8...12 мкм. Однако сложностью создания ИК-аппаратуры является то, что она требует для своей работы наличия системы, обеспечивающей поддержание температуры фотоприемных устройств (ФПУ) на уровне 75...90 К. Из-за большого срока работы аппарата в качестве такой системы обычно используются газовые криогенные машины (ГКМ), недостатком которых является значительное энергопотребление, а также механические и электромагнитные помехи.

Работу аппаратуры на борту микроспутника отличает отсутствие единой системы термостатирования, крайне ограниченное энергообеспечение, жесткие ограничения по массе и габаритам, а так-

же по вибрационным, электрическим и радиочастотным помехам. Кроме того, для коммерческой привлекательности эксплуатации спутника необходим большой ресурс работы аппаратуры (5...8 лет и более) и жесткие ограничения ее стоимости.

Особенностью разрабатываемого ИК-сканера является то, что он предназначен для установки на ИСЗ, работающем на солнечно-синхронной орбите, на которой рабочему времени съемки предшествует переориентация спутника, а съемка одного района ограничена несколькими десятками секунд (до минуты). То есть, мы имеем нетипичный для ГКМ режим работы, когда время охлаждения ФПУ (3...10 мин) существенно больше сеанса работы ИК-сканера.

Возможным вариантом исключения всех указанных трудностей является использование аккумулятора холода, который позволит ИК-сканеру работать в пассивном режиме охлаждения за счет накопленного заранее «запаса холода». Но при сравнении различных систем необходимо учитывать все обслуживающие подсистемы, в том числе недооцениваемую разработчиками ИК-аппаратуры систему термостабилизации ГКМ, которая должна исключать возможные переохлаждения либо перегревы машины при длительных перерывах в ее работе.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ КРИОСТАТИРОВАНИЯ

Для определения наиболее эффективной системы криогенного обеспечения (СКО) были рассмотрены схемы, включающие в свой состав криостат с термоаккумулятором (ТА), теплоемкость которого увеличена за счет использования рабочих веществ, имеющих фазовые переходы в температурном диапазоне, соответствующем рабочей температуре ФПУ.

В качестве наиболее энергоемких фазовых переходов были рассмотрены процессы плавления и испарения криогенных веществ и их смесей. В качестве веществ, обеспечивающих температуру охлаждения в диапазоне 75...85 К, были рассмотрены азот, аргон, кислород, окись углерода и метан. Следует отметить, что использование теплоемкости металлов либо органических веществ менее эффективно, так как их теплоемкость при рабочих температурах много меньше теплоемкости для достижения этих температур. Кроме того, из-за различия коэффициентов термического расширения термоаккумулирующего вещества (особенно при использовании фазовых переходов) и материала конструкции криостата возникают существенные трудности при передаче тепла от ФПУ к теплоемкому веществу ТА.

Упрощенная схема системы криогенного обеспечения с ТА испарения представлена на рис. 1. Основным источником криогенного охлаждения является компрессор 2 и охладитель 1 ГКМ, работающей по обратному циклу Стирлинга. ФПУ с холодной диафрагмой 7 вместе с рабочим сосудом ТА 8 размещены в высоковакуумном криостате 6. Объем ТА соединен трубкой 9 с сильфонным ресивером 10, объем которого может изменяться под действием электропривода 11. Для отвода тепла от ГКМ предусмотрены радиационный теплообменник 5 и ТА ГКМ 3, соединенные тепловыми трубами 4. Для контроля состояния и управления приводами СКО предусмотрен блок управления и питания 12. В качестве рабочих веществ системы использованы: гелий — как рабочее тело ГКМ, азот — для ТА криостата, водный раствор ЛЗТК — для ТА ГКМ, аммиак — для тепловых труб.

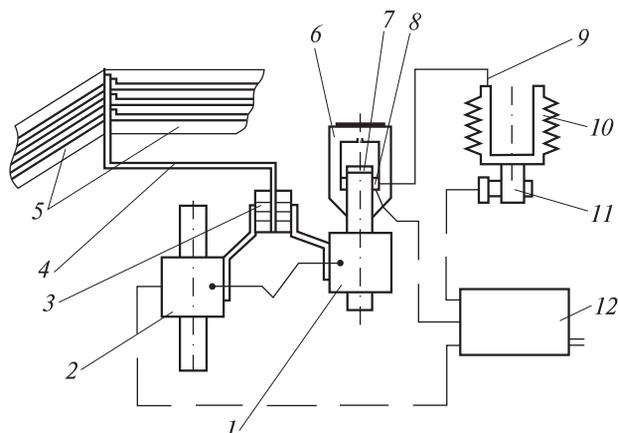


Рис. 1. Упрощенная схема системы криогенного обеспечения: 1 — охладитель, 2 — компрессор, 3 — термоаккумулятор ГКМ, 4 — тепловые трубы, 5 — радиационный теплообменник, 6 — высоковакуумный криостат, 7 — ФПУ с холодной диафрагмой, 8 — термоаккумулятор ФПУ, 9 — соединительная трубка, 10 — сильфонный ресивер, 11 — электропривод, 12 — блок управления и питания

Конструкция криостата, к которой предъявляются противоречивые требования сведения к минимуму теплопритоков и оптического позиционирования ФПУ, представлена на рис. 2. На нем корпус криостата 1 жестко связан с фланцем цилиндра 3 охладителя ГКМ и окружает поршень-вытеснитель 4. Расширенное доньшко цилиндра охладителя одновременно является доньшком емкости ТА, которое имеет внутри теплоотводящие ребра 7. На этом доньшке закреплены на тепловой контакт ФПУ 12 в виде двух линеек типа Mercury LW либо матрицы Saturn SW фирмы SOFRADIR. Для уменьшения теплового потока от корпуса и входного окна 8 последнее имеет отражательную маску 9, а к емкости ТА прикреплен тепловой экран 10 с отверстием для полезного сигнала, который выполняет роль диафрагмы. Для соединения объема ТА с внешним ресивером имеется соединительная трубка 15, а для вакуумирования изоляционной полости криостата предусмотрен откачной штенгель 16 и геттерный вакуумный насос 17.

Корпус криостата выполнен из нержавеющей стали, которая обеспечивает минимальные газоотделение и газопроницаемость конструкции.

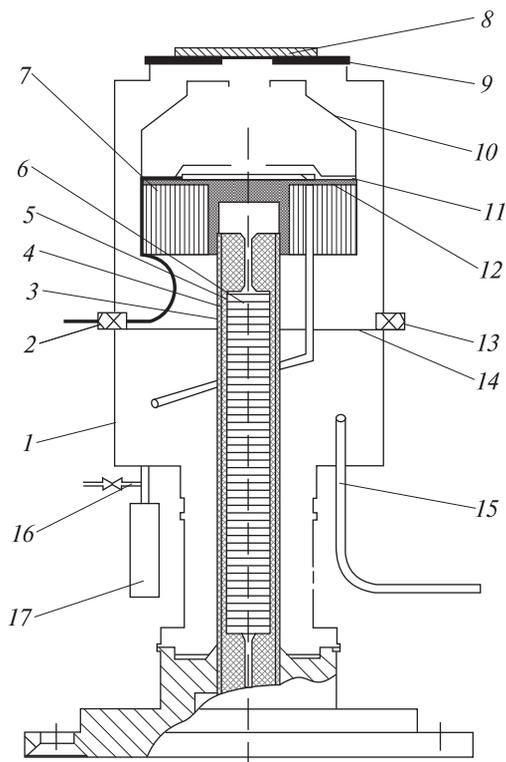


Рис. 2. Схема конструкции криостата: 1 — корпус криостата, 2 — разъем ФПУ, 3 — цилиндр, 4 — поршень-вытеснитель, 5 — зазор, 6 — насадка генератора, 7 — тепловые ребра, 8 — входное окно, 9 — отражательная маска, 10 — тепловой экран, 11 — тепловой экран, 12 — фотоприемное устройство, 13 — разъем ТА ФПУ, 14 — разъем корпуса, 15 — соединительная трубка, 16 — откачной штенгель, 17 — геттерный насос

Холодный экран изнутри имеет черное покрытие для поглощения бликов теплового излучения, а снаружи отполирован для сведения к минимуму теплопритоков излучением. Все провода от ФПУ выполнены из материала с большим термическим сопротивлением и закрыты тепловыми экранами.

Система криогенного обеспечения работает следующим образом (рис. 1). Исходное температурное состояние криостата, ГКМ и ТА ГКМ определяется тепловым балансом тепловых потоков от Солнца, Земли, элементов ИСЗ и отводом тепла в космическое пространство. За 15... 20 мин до сеанса работы ИК-сканера через блок 12 подается регулируемое электропитание на привод компрессора 2 ГКМ. По мере охлажде-

ния головки охладителя 1 ГКМ охлаждается емкость ТА 8 и газообразный азот, который, сжижаясь, освобождает объем для азота из внешнего ресивера 10. Для уменьшения потребляемой мощности ГКМ при конденсации азота сильфон поджат приводом 11. Для обеспечения времени до начала ИК-съемки азот переохлаждается на несколько градусов ниже рабочей температуры ФПУ. Затем компрессор ГКМ выключают, а при повышении температуры ФПУ до рабочих значений блок управления включает мало-мощный привод 11 для удержания давления в азотном контуре ТА 8 и стабилизации температуры охлаждения ФПУ. После окончания сеанса ИК-съемки охладитель отогревается за счет теплопритоков, а ТА ГКМ 3 и диодная труба 4 удерживают корпус компрессора и охладителя в ограниченном диапазоне температур.

Усложняющим конструкцией фактором является необходимость разделения жидкой и паровой фаз для отведения последней из объема ТА 8 в условиях невесомости. В рассмотренной схеме предполагалось использовать для разделения фаз свойство смачивания криогенными жидкостями металлических поверхностей теплопроводящих ребер, но, как запас, на указанные потери предусмотрено дополнительно 5...10 % жидкости от расчетного объема.

В качестве альтернативы описанной системе была рассмотрена СКО с аккумулятором плавления, использующим в качестве рабочего вещества газовую смесь аргона и кислорода. В такой системе нет проблем с разделением конденсированной и паровой фаз в ТА, так как плавление рабочего вещества происходит при давлении, удерживаемым самим процессом фазового перехода. Схема системы может быть принята аналогичной представленной на рис. 1, но вместо ресивера с изменяющимся объемом может быть использован баллон небольшого объема. Схема с аккумулятором плавления не требует механического привода, а величину объема ресивера определяет давление хранения необходимой газовой смеси при максимальной температуре конструкции. Однако из-за того что величина скрытой теплоты плавления в 4...5 раз меньше теплоты испарения, возрастает количество аккумуля-

мулирующего вещества и потребление энергии для начального охлаждения ТА.

Для сравнительного анализа СКО с ТА была рассмотрена схема непосредственного охлаждения ФПУ со сплит-охладителем на основе пульсационной трубки. Такая комплектация сводит к минимуму вибрации непосредственно охлаждителя, механически связанного с ФПУ, но остается механическая связь с компрессором и остаются все проблемы энергопотребления и выхода системы на температурный режим, как по времени, так и по потребляемой электрической мощности. Криостат без ТА может быть уменьшен в размерах, исчезает теплый ресивер, но все равно требуется система охлаждения компрессора и охлаждителя для бортовой работы, а следовательно, разработка радиационного теплообменника и ТА для термостабилизации ГКМ.

В предлагаемой схеме использован угловой радиатор, частично освещаемый Солнцем для исключения переохлаждения ГКМ, а стабилизация температуры ФПУ обеспечивается мало мощным приводом, сжимающим сильфон и поддерживающим необходимое давление азота. При этом для надежности теплый ресивер конструктивно выполнен из стандартного сильфона с цилиндрической вставкой, уменьшающей объем системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ СИСТЕМЫ КРИОГЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

При проведении оценочных расчетов агрегатов СКО были использованы характеристики известных ГКМ и ФПУ, поставляемых на рынок специализированными фирмами, а также характеристики агрегатов и систем, разрабатываемых и изготавливаемых с участием ЦКБ «Арсенал» и НТЦ «Криокосмос».

Агрегатом, определяющим энергетические характеристики системы, является криостат, который должен работать в режиме начального охлаждения ФПУ и активной ИК-съемки. В случае использования ТА к активному периоду должно быть отнесено и время пассивного ожидания съемки.

Для вариантов СКО, рассчитанных на 2.0 и 2.7 мин пассивного охлаждения ФПУ (60 или 100 с ожидания и 60 с работы ИК-сканера), объем рабочей емкости ТА криостата был принят равным 1.45 см^3 с учетом 10 % парового объема и 10 % объема жидкости для компенсации ее выплеска в условиях невесомости. Также предполагалось, что до 20 % объема рабочей полости ТА заняты системой теплоотводящих ребер. Масса охлаждаемой конструкции ТА и ФПУ в медном эквиваленте равна $m_{\text{Cu}} = 5 \text{ г}$. Рабочая температура ФПУ была принята равной $T_1 = 77...80 \text{ К}$, а наружного корпуса криостата — $T_2 = 300 \text{ К}$. Размеры головки и поршня охлаждителя равнялись соответственно $\varnothing 13 \times 0.22 \text{ мм}$ и $\varnothing 12.5 \times 0.16 \text{ мм}$, что соответствует габаритам ГКМ модели Thales. Диаметр самого криостата 35...40 мм, а диаметр теплового экрана 25...30 мм. Размеры прозрачной для ИК-излучения щели в окне криостата приняты равными $2.1 \times 27 \text{ мм}^2$ для двух линеек Mercury и $7.5 \times 28 \text{ мм}^2$ для матрицы Saturn.

При таких исходных данных расчетные величины тепловых потоков теплопроводностью составили на период ожидания ИК-съемки 0.95...1.00 Вт. Самый большой вклад (около 80 %) в указанный поток дает проводимость нержавеющей трубок охлаждителя ГКМ. Для сравнения, теплоприток по соединительной трубке ($\varnothing 2 \times 0.2 \text{ мм}$) ТА с внешним ресивером равняется 0.058 Вт, теплоприток по сигнальным проводам ФПУ, с учетом оговоренного в проспекте фирмы количества проводов 16×2 , — 0.084 Вт, а тепловой поток через регенератор принят на уровне 0.08 Вт.

Расчет теплового потока излучением был выполнен в предположении, что степень черноты внутренней поверхности корпуса криостата $\varepsilon_2 = 0.3$, а холодные поверхности экрана и ТА, обращенные к корпусу, имеют степень черноты $\varepsilon_2 = 0.02$. Входное окно криостата считалось закрытым отражательной оптической маской, в которой открытой оставалась только рабочая щель, пропускающая ИК-сигнал. При этом тепловые потоки излучением от боковой поверхности экрана к ТА составляли 0.03 Вт, а по задней части ТА и цилиндру ГКМ — на уровне 0.02 Вт, по защитной маске окна криостата —

0.006 Вт; по оптической щели — 0.03 и 0.11 Вт. Общий поток тепла излучением составляет 0.095 и 0.102 Вт, а суммарный тепловой поток на термоаккумулирующее вещество в режиме ожидания был оценен в 1.00...1.05 Вт, что соответствует количеству теплоты за минуту $Q_p = 63$ Дж.

Теплоприток к ФПУ и криогенной части криостата, поглощаемый рабочим веществом ТА в период активной работы ИК-сканера, увеличивается на джоулево тепловыделение при прохождении электрического тока через элементы, провода и контакты ФПУ. Исходя из данных фирмы-разработчика, эта величина нами оценена на уровне 0.2...0.3 Вт.

При расчетах времени охлаждения криостата были использованы экспериментальные характеристики реальных ГКМ типа LSF 9599 (кривые 1, 2) фирмы Thales и отечественных охладителей (3), которые приведены на рис. 3. Характеристики даны для температуры окружающей среды 23 °С, напряжения питания 7, 9, 11 В и потребляемой мощности 40 и 60 Вт. Параметры сильно зависят от температуры охлаждения и соответствуют общей потребляемой электроэнергии 40...50 Вт, что является средними показателями для

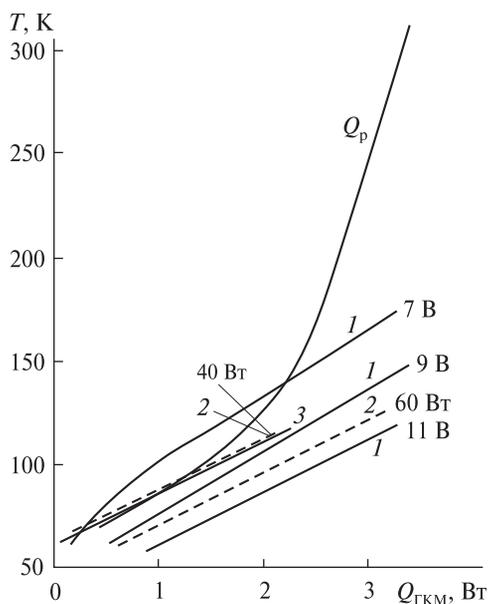


Рис. 3. Хладопроизводительность газовой криогенной машины (см. текст)

машинных охладителей холодопроизводительностью 0.7...1.3 Вт. При расчетах времени охлаждения показатель Q_p дополнительно уменьшен на 10...15 %, с учетом снижения характеристик ГКМ после пяти лет работы.

Количество тепла и время начального охлаждения криостата с ФПУ определялись как сумма промежутков времени для понижения температуры в интервалах, для которых рассчитывались средние значения теплоемкости материалов конструкции и теплоты фазовых переходов рабочего вещества. Так, на охлаждение криостата от 300 до 100 К необходимо 3 мин, на понижение температуры от 100 до 80 К — 3.2 мин, а на охлаждение от 80 до 74 К — 6.3 мин. При расчете постоянно уточнялось давление паров азота в контуре ТА с учетом объема внешнего ресивера. Начальное давление в контуре азота принято равным 0.2 МПа, а конечное, соответствующее 74 К, — 500 Торр. Расчет геометрических размеров конструкции ресивера был проведен при использовании силфона с 12 гофрами, наружным диаметром 160 мм, длиной 140 мм и внутренней вставкой диаметром 128 мм. Общее растяжение (сжатие) силфона на 24.7 мм дает изменение объема ресивера на 407 см³.

Общее время охлаждения криостата и конденсации азота составляет 12.5 мин, но необходимо еще учесть время на охлаждение конструкции самой машины, которое составляет 3...4 мин, а учитывая возможные ограничения по допустимому току и превышения температуры теплоотвода от ГКМ, это время увеличено до $\tau = 18$ мин.

Результаты проведенного расчета приведены на рис. 4, где тепловая нагрузка в первые 60 и 100 с принята на уровне 1.05 Вт, а в последующее время активной работы $q_i = 1.3$ Вт. На графике даны изменения температуры T , давления P и массы азота $m_{ж}$ в криостате и во внешнем ресивере m_r . Видно, что подсистема стабилизации температуры ГКМ может обеспечить работу ФПУ в течение $\tau_a = 60$ с после технологического, пассивного ожидания $\tau_p = 60...100$ с при изменении равновесного давления азота 98.1 Торр/К.

Надежная и гарантированная работа ГКМ предполагает ее включение и эксплуатацию в жестких температурных рамках и не допускает

даже в выключенном состоянии выход за оговоренные рамки температур хранения. Решение этой задачи возможно только с учетом четкого знания программы полета, средней температуры элементов аппаратуры и ориентации КА относительно Солнца и Земли. Поэтому целью расчета была только оценка необходимых площадей для радиационного отвода тепла и возможностей подсистемы на удержание температурного диапазона хранения ГКМ.

Как видно из схемы системы криогенного обеспечения (рис. 1) и возможной компоновки ИК-сканера, охлаждение компрессора и охладителя предлагается осуществлять через ТА ГКМ, соединительные тепловые трубы и радиационный теплообменник. Исходя из расчетов, предлагается использовать радиационный теплообменник площадью 0.12 м^2 ($700 \times 17.2 \text{ мм}^2$), а избыточное количество тепла отводить ТА и теплоемкостью металла корпуса машины. При расчетах исходили из более жесткого диапазона температур работы ГКМ от -20 до $+30 \text{ }^\circ\text{C}$ и времени работы ГКМ $15 \dots 20$ мин при среднем потреблении в диапазоне $50 \dots 60 \text{ Вт}$ за сеанс. Охлаждаемая масса машины принята равной 3 кг , а теплоприток от нее в пассивном режиме — около 10 Вт . Также было принято, что в период работы ГКМ на радиационный теплообменник не попадает излучение от Солнца, а тепловой поток от Земли составлял 100 Вт/м^2 .

Объем ТА ГКМ принят равным $V_{\text{ТА}} = 0.3 \text{ дм}^3$, из которых 0.25 дм^3 занято водным раствором ЛЗТК, затвердевающим в диапазоне температур $270 \dots 240 \text{ К}$ и исключаяющим нарушение герметичности сосуда при затвердевании. Теплота плавления (затвердевания) раствора в диапазоне температур $270 \dots 250 \text{ К}$ принята равной 300 Дж/г .

Оценочные расчеты излучательной способности радиационного теплообменника проводился по формуле Стефана — Больцмана, причем степень черноты излучающей поверхности принималась равной $\epsilon = 0.9$, а максимальная фоновая засветка излучением Земли — 12 Вт . Тепловые расчеты показали, что ГКМ со средней потребляемой мощностью $40 \dots 60 \text{ Вт}$ за один цикл охлаждения криостата отдает от 44280 до

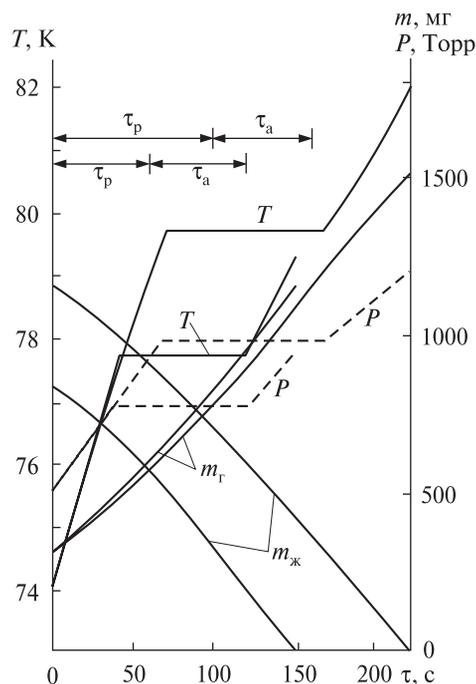


Рис. 4. Расчетные характеристики криостата (см. текст)

66420 Дж тепла. В то же время радиационный теплообменник в принятом диапазоне температур может отвести от 25.5 до 52.5 Вт тепла при отсутствии подсветки Землей, а при наличии подсветки — от 13.5 до 40.5 Вт . Это значит, что даже при температуре теплоотвода $+30 \text{ }^\circ\text{C}$ радиационный теплообменник не всегда может обеспечить прямой отвод тепла без использования теплоемкости ТА, которая накапливается во время длительных пауз в работе ГКМ. Предварительно охлажденный ТА может обеспечить средний за цикл отвод тепла от работающей ГКМ в $50 \dots 70 \text{ Вт}$. Расчетное время замораживания ТА может составлять $\tau = 81$ мин при отсутствии засветки радиационного теплообменника тепловыми потоками от Земли и Солнца. При засветке 50% времени тепловым потоком от Земли это время увеличивается до $\tau = 104$ мин. Наличие в ТА частично отвердевшего рабочего раствора ЛЗТК уменьшает тепловое излучение радиатора до уровня 25 Вт , что в основном покрывают теплопритоки от неработающей ГКМ.

Для исключения возможности переохлаждения ТА целесообразно рассмотреть возмож-

ность подвода к радиатору небольшого количества тепла от других агрегатов и приборов ИСЗ, имеющих тепловыделение на уровне 10...20 Вт, например объектива сканера, имеющего значительные размеры и тепловые связи с рамой ИСЗ. Подогрев ТА можно обеспечить освещением радиационного теплообменника Солнцем за счет использования систем управления и ориентации ИСЗ. Одним из решений задачи исключения переохлаждения ТА может быть размещение радиационного теплообменника на освещаемой Солнцем стороне ИСЗ, но радиационный теплообменник должен иметь покрытие, имеющее значение отношения $A_s/\epsilon_n = 0.3...0.4$ при $\epsilon_n \approx 0.9$.

Оценка СКО с ТА испарения дала общую массу в 10.9 кг, из которых масса криостата — 0.25 кг, ГКМ — 3.1 кг, система газового ресивера — 3.3 кг, система термостатирования ГКМ — 3.6 кг, блок управления — 0.6 кг, рама — 0.3 кг.

Система прямого охлаждения может иметь массу минимум на 4 кг меньше, и время ее работы на одну ИК-съемку может быть сокращено в 2...3 раза. То есть устранение механических и электромагнитных помех от работы компрессора, а также разнесение во времени активной работы ГКМ и ИК-сканирования может быть реализовано, но требует дополнительной массы и энергопотребления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для использования ИК-сканеров на борту микроспутников может быть использована система криогенного охлаждения с ТА испарения, которая может быть заранее охлаждена и обеспечивать работу ИК ФПУ в пассивном режиме. Но такая система требует дополнительной массы и энергопотребления. Поэтому при использовании такой системы необходимо четко оценивать особенности ее работы и рассматривать возможность альтернативных решений. Особое внимание следует уделять системе термостабилизации

активной ГКМ в условиях космического полета. Потенциал предприятий Украины пока еще вполне достаточен для реализации предложенных систем.

1. *Справочник по физико-техническим основам криогеники* / Под ред. М. П. Малкова. — М.: Энергия, 1973. — 392 с.
2. Mullie J., van der Groep W., Bruins P., et al. Improvement of cooldown time of LSF 9599 flexure-bearing sata cooler // Proc. SPIE. — 2006. — **6206**. — doi:10.1117/12.664840.

Стаття надійшла до редакції 10.10.13

С. О. Засуха, О. Л. Макаров, М. І. Лихоліт,
Л. П. Семенов, Ю. О. Меленевський, В. Т. Архипов

ОСОБЛИВОСТІ КРИОГЕННИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ДЕТЕКТОРІВ ІЧ-СКАНЕРІВ ДЛЯ МІКРОСУПУТНИКІВ

Розглянуто різні системи охолодження приймачів ІЧ-сканера, призначеного для роботи в повторно короткочасному режимі на борту малих ШСЗ. Показано, що одним з варіантів системи криостатування сканера може бути схема з акумулятором випаровування, що дозволяє охолоджувати детектори в пасивному режимі, тобто при непрацюючій газовій криогенній машині (ГКМ). Така система вимагає додаткових мас і енергоспоживання, але дозволяє рознести в часі роботу ГКМ і власне ІЧ-сканування. Розглянуто особливості роботи системи тепловідведення від ГКМ на малих ШСЗ, що працюють на сонячно-синхронній орбіті.

S. A. Zasukha, A. L. Makarov, N. I. Lykholit,
L. P. Semenov, Y. A. Melenevskiy, V. T. Arkhipov

SOME FEATURES OF CRYOGENIC COOLING SYSTEMS OF INFRARED SCANNER DETECTORS FOR MICROSATELLITES

We considered different cooling systems of the IR scanner designed for the use in intermittent duty aboard small satellites. It is shown that one of the system types can be a cryostatting scanner with an evaporation accumulator for cooling the detectors in a passive mode, i.e., at the disconnected gas cryogenic machine (GCM). Such a system requires additional mass and power consumption but allows one to separate in time the work of the GCM and IR scanning. We consider some features of the system of heat removal from the GCM for small satellites operating on Sun-synchronous orbits.