

Кроме представленных выше способов для определения вида модуляции используется комбинация вейвлет-преобразования и оценки параметров сигнала по методу максимального правдоподобия [5; 6]. Как показано в [5], данный метод позволяет классифицировать модуляцию контролируемого радиосигнала при отношении сигнал/шум выше 5 дБ. В случае применения данного метода, обработку сигналов с цифровой модуляцией проводят в два этапа:

1) определение технической скорости передачи и моментов перехода параметров сигнала;

2) оценка параметров сигнала по методу максимального правдоподобия внутри интервалов с постоянными параметрами.

Подобный подход позволяет обеспечить устойчивость к шумам и кратковременным помехам, а также позволяет проводить обработку в режиме, близком к реальному времени.

В статье рассмотрены перспективные методы определения вида модуляции в современных системах радиоконтроля: метод, основанный на минимизации расстояния Кульбака-Лейблера, метод основанный на применении теории кумулянтов, метод, основанный на совмещении вейвлет-преобразования сигналов и оценок максимального правдоподобия. Проведено имитационное моделирование классификация модуляций по данным методам. На основе анализа результатов моделирования данных методов можно сказать, что для устранения недостатков должны использоваться комплексные методы, дающие преимущества совмещаемых методов и нивелирующие их недостатки.

Библиографические ссылки

1. Горячкин О. В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи // Радио и связь, 2003. 230 с.
2. Кузовников А. В., Семкин П. В. Применение методов слепой обработки сигналов к задачам радио-

мониторинга // Материалы всерос. науч. конф. молодых ученых : в 7 ч. Ч. 2. НГТУ (Новосибирск, 29 ноября – 2 декабря 2012). С. 225–226.

3. Sadler B., Swami A. “Hierarchal Digital Modulation Classification Using Cumulants”, IEEE Transactions on Communications. March 2000. Vol. 48, no. 3. P. 416–42.

4. Li S., Song C., F. Chen Lei Shen. “Automatic Modulation Classification of MPSK signals Using High Order Cumulants” in ICSP, 2006. P. 1–4.

5. Патент RU 2485526 C2. Способ оценки параметров и демодуляции случайных сигналов. Опубл. 20.06.2013.

6. Оценка параметров и демодуляция радиосигналов в условиях априорной неопределенности / Н. А. Тестоедов, П. В. Семкин, А. В. Кузовников, В. Г. Сомов // Радиотехника, 2013. № 6. С. 96–100.

References

1. Goraychkin O. V. *Radio i svyaz'* (Radio and communications), 2003. 230 p.
2. Kuzovnikov A. V., Semkin P. V. *Materialy vsoros. nauch. konf. molodykh uchenykh : v 7 ch. Ch. 2.* (Materials of scientific conference of young scientists in seven part. Part 2), NSTU, Novosibirsk 29th November – 2th December 2012, p. 225–226.
3. Sadler B., Swami A. Hierarchal Digital Modulation Classification Using Cumulants, IEEE Transactions on Communications, March 2000, vol. 48, no. 3, p. 416–429.
4. Li S., Song C., F. Chen Lei Shen. Automatic Modulation Classification of MPSK signals Using High Order Cumulants, in ICSP, 2006, p. 1–4.
5. Patent RU 2485526 C2. *Cposob otsenki parametrov i demodulyatsii sluchaynykh signalov* (Method of parameter estimation and demodulation of random signals), published 20.06.2013.
6. Testoev N. A., Semkin P. V., Kuzovnikov A. V., Somov V. G. *Radioengineering*, 2013, № 6, p. 96–100.

© Семкин П. В., Кузовников А. В., Сомов В. Г., Тестоедов Н. А., 2013

УДК 548: 537.611.46

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ С РАСКРЫВАЕМЫМИ ХОЛОДИЛЬНИКАМИ-ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ СПУТНИКОВ СВЯЗИ С ПОВЫШЕННЫМ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЕМ

Е. В. Кривов

ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 662971, г. Железногорск, ул. Ленина, 52. E-mail: krivov@iss-reshetnev.ru

Рассматриваются экспериментальные исследования двухфазной СТР с конденсаторами в раскрываемом холодильнике излучателе (РХИ) для создания новых высокоэффективных и надёжных СТР с жидкостным контуром и двухфазной подсистемой с РХИ для перспективных спутников связи с повышенной энергооборужённостью разработки ОАО «ИСС».

Ключевые слова: двухфазные системы терморегулирования, контурные тепловые трубы, раскрываемый холодильник-излучатель.

INVESTIGATION OF TWO PHASE LOOP THERMAL CONTROL SYSTEM WITH DEPLOYABLE RADIATOR OF TELECOMMUNICATION SATELLITE WITH HIGH LEVEL OF HEAT OUTPUT

E. V. Krivov

JSC "Information satellite system" named after academician M.F. Reshetnev
52 "Lenina" str., Jeleznogorsk, 662971, Russia. E-mail: krivov@iss-reshetnev.ru

Two phase thermo-control system with deployable radiator of telecommunication satellite with high level of heat liberation is described in this paper. In this article presents results of test two phase thermo-control system with deployable radiator for advanced spacecraft with increased energy supply developed by the JSC "ISS".

Keywords: phase thermo-control system, loop heat pipe, deployable radiator.

С развитием экономики и передовых технологий постоянно возрастает потребность операторов спутниковой связи в дополнительных ресурсах, обеспечиваемых современными телекоммуникационными космическими аппаратами (КА). Мировой рынок в области создания высокомоощных спутников связи, обладающих большой пропускной способностью и длительным сроком активного существования определяет тенденцию к росту энерговооруженности спутника, как следствие – увеличение тепловыделения оборудования КА.

В состав КА входит ряд технических систем нуждающихся в отводе тепла. Система терморегулирования (СТР) является частью единой бортовой энергетической системы спутника. СТР КА предназначена для поддержания в требуемых пределах гарантированных температурных диапазонов всего оборудования при орбитальном функционировании, а также для обеспечения теплового режима оборудования КА совместно с технологическими средствами термостатирования при наземных испытаниях.

В современных разработках ОАО «ИСС» КА контейнерного конструктивного исполнения, например, КА AMOS-5 (мощность системы электропитания 7,6 кВт) на базе платформы «Экспресс-1000Н», применена комбинированная СТР, в которой дублированный жидкостный контур сочетается с аксиальными тепловыми трубами (ТТ). Для мощностей тепловыделения не более 5 кВт такой тип СТР удовлетворяет всем требованиям обеспечения теплового режима оборудования КА в течение длительного срока службы (не менее 15 лет), однако требует ощутимых расходов на массу и энергопотребление.

Для спутников связи с мощностью системы электропитания от 12 до 15 кВт, КА на базе платформы «Экспресс-2000» (КА типа «Экспресс-АМ5») с тепловыделением до 9 кВт, затраты массо-энергетических ресурсов возрастают. Повышение энерговооруженности телекоммуникационного спутника ведёт к увеличению габаритных размеров КА. Современная архитектура таких КА приближается к своему пределу по доступной площади радиационных поверхностей. Решением данного вопроса является применение раскрываемых холодильников-излучателей двухстороннего излучения, как средства для значительного увеличения способности теплоотвода без существенного влияния на архитектуру КА. Однако площадь радиаторов существенно возрастает из-за снижения вели-

чины средней температуры излучения. При использовании СТР с жидкостным контуром реализуется температура теплоносителя на выходе из радиатора существенно ниже температуры теплоносителя на входе из него, соответственно требуется увеличенная радиационная площадь, что обуславливает увеличение длины тракта контура и, следовательно, приводит к увеличению массы теплоносителя, увеличивается также гидравлическое сопротивление и в связи с этим требуется более мощный электронасосный агрегат, соответственно с большей массой и энергопотреблением. Кроме того, масса холодильника-излучателя получается большой из-за того, что тракт в нём имеет большую площадь поперечного сечения (внутренний диаметр не менее 12 мм).

Решением проблемы отвода тепловой мощности спутника с повышенной энерговооруженностью (мощность системы электропитания до 18÷20 кВт), с тепловыделением более 9 кВт, для КА на базе платформы «Экспресс-4000», может послужить применение, наряду с жидкостным контуром и ТТ, двухфазной СТР на базе контурных ТТ с конденсаторами в РХИ. Принцип работы двухфазной СТР основан на использовании фазового перехода теплоносителя для сбора и сброса тепла. При кипении тепловая энергия аккумулируется в виде скрытой теплоты парообразования вследствие испарения жидкой фазы в зонах теплоотвода от оборудования, что позволяет переносить значительно большее количество тепла на единицу массового расхода теплоносителя, чем в случае применения однофазных теплоносителей. Изотермичность двухфазной СТР приводит к повышению средней температуры поверхности радиационных панелей, соответственно снижению площади и массы холодильников-излучателей. Кроме того, уменьшение массы с использованием двухфазной СТР обусловлено за счёт меньшего расхода, и соответственно меньшего объёма теплоносителя, небольших диаметров трубопроводов (внутренний диаметр 3–5 мм), а также минимального энергопотребления.

В то же время при разработке двухфазной СТР возникает ряд проблем, большинство из которых не встречались в СТР с жидким однофазным теплоносителем. Эти вопросы возникают как при конструировании элементов двухфазных СТР (капиллярных насосов (КН), холодильников-излучателей и др.), так и интеграции системы (оптимальная заправка теплоно-

сителем ТТ, запуск, регулирование, отработка элементов отвода, переноса и сброса тепла двухфазных СТР и др.).

Работа, результаты которой изложены, выполнялась на базе проводимых работ в ОАО «ИСС» в рамках реализации государственного контракта с Федеральным космическим агентством Российской Федерации по выполнению опытно-конструкторской работы «Создание базовых элементов новых интегрированных систем терморегулирования перспективных космических аппаратов и станций».

Цель – проведение экспериментальных исследований работы двухфазной СТР с конденсаторами в РХИ для создания новых высокоэффективных и надёжных СТР с жидкостным контуром и двухфазной подсистемой с РХИ для перспективных спутников связи с повышенной энерговооружённостью разработки ОАО «ИСС».

Задачи:

1. Разработать модуль двухфазной СТР с РХИ (МРХИ) для отработки элементов отвода, переноса и сброса тепла двухфазных СТР при нормальных и термовакуумных условиях. Провести экспериментальные исследования МРХИ.

2. Разработать СТР с жидкостным контуром и двухфазной подсистемой с РХИ для перспективных спутников связи с повышенной энерговооружённостью разработки ОАО «ИСС».

В ходе выполнения работы разработан и испытан модуль двухфазной СТР с РХИ [1; 2].

МРХИ с контурными ТТ разработан в качестве базового элемента для интеграции в СТР спутника связи с повышенной энерговооружённостью.

МРХИ предназначен для отработки элементов отвода, переноса и сброса тепловой энергии, отработки функционирования СТР при нормальных условиях и в термовакууме.

Конструктивно МРХИ представляет собой две независимые контурные ТТ с конденсаторами на РХИ.

Особенности конструкции контурной ТТ Контур А (с кондуктивным тепловым интерфейсом):

- капиллярный насос (КН) имеет интерфейс в виде профиля с полкой (подвод тепла от электронагревателя);

- контурная ТТ оснащена рекуперативным теплообменником (РТО) для подогрева конденсата поступающего в КН;

- контурная ТТ оснащена отсечными вентилями позволяющими задействовать или перекрывать РТО.

Особенностью конструкции контурной ТТ Контур Б (с конвективным тепловым интерфейсом) является то, что корпус испарителя КН выполнен в виде проточного теплообменника для тепловой связи с внешним жидкостным циркуляционным контуром.

Основные результаты проведённых теплофизических испытаний:

1. Оба контура МРХИ работоспособны в нормальных условиях, при низких температурах, в вакууме. Достигнутая максимальная передаваемая мощность контуров при ступенчатом подводе нагрузки состав-

ляет для Контур А – 750 Вт и 980 Вт для Контур Б. МРХИ работоспособен при циклическом подводе тепловой нагрузки для Контур А – от 50 до 700 Вт и обратно, для Контур Б – от 200 до 800 Вт и обратно.

2. Контур МРХИ могут работать как автономно (раздельно), так и одновременно. Определяющим по распределению температуры на РХИ является тот контур, на который подана большая мощность.

3. Для повышения надёжности работы контура необходимо между КН и холодильником-излучателем применение РТО. Стабилизирующее воздействие РТО велико при малых нагрузках подаваемых к КН, когда радиационная поверхность наиболее неизотермична. При увеличении нагрузки на КН влияние РТО уменьшается.

В работе рассматривалось применение комбинированной СТР КА сочетающей циркуляционный жидкостной контур, аксиальные ТТ и контурные ТТ с конденсаторами в РХИ обеспечивающей высокую холодопроизводительность СТР спутника с повышенной энерговооружённостью на базе платформы «Экспресс-4000». Интерфейс между контурной ТТ и контуром с принудительной циркуляцией теплоносителя осуществляется через теплообменник испарителя КН.

Проведённый анализ показал, что если требуется отвести в космическое пространство избыточного тепла более 5 кВт, площадь холодильников-излучателей существенно возрастает из-за снижения величины средней температуры излучения. Так как в этом случае реализуется температура теплоносителя на выходе из холодильника-излучателя существенно ниже температуры теплоносителя на входе его, и увеличение площади холодильника-излучателя приводит к неприемлемому увеличению его массы. Кроме того, масса холодильника-излучателя получается большой из-за того, что тракт в нём в случае использования жидкого теплоносителя имеет большую площадь поперечного сечения (внутренний диаметр не менее 12 мм). Причём, увеличенная площадь холодильника-излучателя обуславливает увеличения длины тракта его, где циркулирует теплоноситель, и, следовательно, приводит к увеличению массы теплоносителя: увеличивается так же гидравлическое сопротивление и в связи с этим потребуется более мощный электронасосный агрегат (ЭНА), соответственно с большей массой.

Следствием является повышенная удельная массовая энергетическая характеристика СТР КА и увеличение массы системы электропитания КА.

Целью предлагаемого решения является устранение существенных недостатков, которая достигается сочетанием традиционного жидкостного контура с контурными и аксиальными ТТ. Двухфазная подсистема СТР с РХИ обеспечивает отвод избыточного тепла от жидкостного контура посредством циркуляции теплоносителя через теплообменник контурной ТТ. Результаты проведённых исследований показывают, что использование двухфазной СТР в сочетании с жидкостным контуром является наиболее эффективным, так как подвод тепла к КН контурной ТТ

осуществляется по всей площади капиллярного испарителя от жидкого теплоносителя через теплообменник.

Работа предложенной комбинированной СТР КА происходит следующим образом: При работе жидкостного подконтура циркуляцию теплоносителя обеспечивает ЭНА. Компенсацию объёма при температурных изменениях теплоносителя обеспечивает гидроаккумулятор (ГА).

Жидкий теплоноситель при движении по трактам расположенными под тепловыделяющей аппаратурой КА (или аксиальными ТТ, которые встроены в приборные сотовые панели КА) воспринимает избыточное тепло, выделившееся при их работе, и нагретый теплоноситель поступает в теплообменник испарителя КН контурной ТТ. При этом процессе происходит передача тепла испарителю контурной ТТ, в котором происходит вскипание его двухфазного теплоносителя и поглощение избыточного тепла, далее охлаждённый жидкий теплоноситель движется по тракту к ЭНА. Перенос тепла по трактам контурной ТТ к РХИ осуществляется через гибкие трубопроводы, в конденсаторе РХИ происходит передача тепла к поверхности РХИ – конденсация двухфазного теплоносителя и излучение избыточного тепла в космическое пространство. Сконденсировавшийся в жидкую фазу в каналах РХИ теплоноситель поступает в испаритель КН, таким образом, контур замыкается.

Каналы конденсатора имеют меньшую площадь поперечного сечения (внутренний диаметр канала 3–5 мм), чем холодильник-излучатель на основе циркуляции жидкого теплоносителя, так как массовый расход двухфазного теплоносителя существенно ниже массового расхода жидкого теплоносителя в прототипе. Кроме того, средняя температура холодильника-излучателя выше по сравнению со средней температурой излучения в прототипе и, следовательно требуется меньшая площадь радиатора, – приводящие к уменьшению массы СТР в целом.

Применение комбинированной СТР КА сочетающей циркуляционный жидкостный контур, аксиальные ТТ и двухфазный контур на основе капиллярной прокачки теплоносителя с РХИ обеспечивает высокую хладопроизводительность СТР КА с повышенной энерговооружённостью на базе платформы «Экспресс-4000» и снижения массы СТР в целом.

В ходе работы решены следующие задачи:

1. Разработан и проведены экспериментальные исследования модуля двухфазной СТР с РХИ для отработки элементов отвода, переноса и сброса тепла контурных ТТ с разными способами подведения тепла к капиллярным испарителям КН при нормальных условиях и в условиях термоваккуума. Анализ экспериментальных данных показал:

– модуль двухфазной СТР с РХИ надёжно функционирует как при нормальных условиях, так и в условиях термоваккуума, максимальная передаваемая тепловая мощность составляет для Контур А 750 Вт и для Контур Б 980 Вт;

– для повышения надёжности работы контурной ТТ эффективно использовать рекуперативный теплообменник между КН и РХИ;

– разработаны и испытаны в составе модуля КН капиллярный напор которых составил не менее 0,3 кгс/см². В ОАО «ИСС» освоена технология изготовления КН предложенной конструкции для перспективных двухфазных СТР спутников связи на базе платформы «Экспресс-4000».

Контурная ТТ с конвективным способом подвода тепловой мощности является наиболее эффективной по величине отводимой тепловой мощности из-за наиболее равномерного подвода тепла к капиллярному испарителю КН.

2. На основе полученных результатов экспериментальных исследований МРХИ и учитывая накопленный опыт ОАО «ИСС» при создании СТР с активной циркуляцией жидкостного теплоносителя разработана комбинированная СТР с жидкостным контуром в сочетании с аксиальными и контурными ТТ с конденсаторами в РХИ. Предложенное решение ведёт к повышению средней температуры излучения холодильника-излучателя, и как следствие - потребуется уменьшенная площадь РХИ, как следствие уменьшая масса СТР в целом. Результаты экспериментальных исследований контурной ТТ использованы при создании СТР КА «Юбилейный-2» («МиР» [3]).

На основании вышеизложенного сделан вывод, что в настоящее время возможна разработка штатной СТР спутников с повышенной энерговооружённостью в основе которой лежит комбинированная СТР с жидкостным контуром в сочетании с аксиальными и контурными ТТ с конденсаторами в РХИ. Использование данной СТР позволит обеспечить снижение массы, энергопотребления, габаритов перспективных с длительным ресурсом работы (не менее 15 лет) КА в целом, повышение качества и надёжности работы бортового оборудования.

Библиографические ссылки

1. Разработка и испытания двухфазного контура с капиллярным насосом для СТР с раскрываемым радиатором / Е. В. Кривов, Г. В. Дмитриев, Ю. М. Голованов и др. // Тепловые трубы космического применения : материалы междунар. конф. НПО им. С. А. Лавочкина. Химки, 2009. С. 88–89.
2. Разработка контурных тепловых труб с кондуктивным и конвективным интерфейсом капиллярных испарителей для двухфазных систем терморегулирования с раскрываемым радиатором / Е. В. Кривов, Г. В. Дмитриев, О. В. Шилкин и др. // Космические вехи : сб. тр., посвященный 50-летию создания ОАО «ИСС» им. академика М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2009. С. 704–713.
3. Наземная экспериментальная отработка щелевых и капиллярных испарителей, теплового гидроаккумулятора, конденсаторов в составе двухфазных аммиачных контуров / Е. В. Кривов, В. В. Двирный, Г. В. Дмитриев и др. // Науч.-техн. конф. молодых

специалистов ОАО «ИСС» (2–4 марта 2011). С. 250–251.

References

1. Krivov E., Dmitriev G., Golovanov Yu., etc. *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii "Teplovyye truby kosmicheskogo primeneniya"* (International conference papers "Heat Pipes for Space Application"), NPO im. S. A. Lavochkina, Khimki, 2009, p. 88–89.

2. Krivov E., Dmitriev G., Shilkin O., etc. *Kosmicheskiye vekhi, sbornik trudov posvyashchenny 50-letiyu sozdaniya OAO "ISS" imeni akademika M. F. Reshetnova* (Edition "Space milestones"), 2009, p. 704–713.

3. Krivov E., Dvirniy V., Dmitriev G., etc. *Nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh spetsialistov OAO "ISS"* (Conference papers "Scientific-technical conference of young specialists of JSC "ISS"), 2011, p. 250–251.

© Кривов Е. В., 2013

УДК 621.396.67

ОРГАНИЗАЦИЯ СКВОЗНОГО ТРАКТА ТЕЛЕМОСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕТРАНСЛЯЦИИ «ЛУЧ»

К. В. Громов, Ю. Г. Выгонский, С. М. Роскин, А. В. Кузовников, В. А. Мухин

ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»
Россия, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина 52
E-mail: grom@iss-reshetnev.ru

Рассмотрены вопросы организации телемостов с использованием многофункциональной космической системы ретрансляции (МКСР) «Луч». Приведено общее описание, технические и эксплуатационные характеристики системы.

Разработана методология использования МКСР «Луч» для организации проведения телемостов с наземными потребителями.

Ключевые слова: многофункциональная космическая система ретрансляции, орбитальная группировка, космический аппарат, земная станция, центр управления ретрансляцией и связью, наземный комплекс обеспечения ретрансляции, сквозной тракт.

ORGANIZATION THROUGH CHANNEL TELEVISION SPACE BRIDGES WITH USAGE OF MULTIFUNCTIONAL SPACE SYSTEM RELAYING "LUCH"

K. V. Gromov, U. G. Vigonskiy, C. M. Roskin, A. V. Kuzovnikov, V. A. Muhin

JSC "Academician M. F. Reshetnev "Information Satellite Systems"
52 Lenin str., Zhelenogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russia. E-mail: grom@iss-reshetnev.ru

This work has questions of organization television space bridges with usage of multifunctional space system relaying (MSSR) "Luch". Here present general description, technical and operational description of system.

Developed methodology use of MSSR "Luch" for organization television space bridges with ground consumers.

Keywords: multifunctional space system relaying, orbital group, space craft, ground station, control center of relaying connection, ground complex support of relaying, through channel.

Общее описание МКСР «Луч». МКСР «Луч» создается в рамках Федеральной космической программы России на 2006–2015 года. Разработчиком системы является Открытое акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева (ОАО «ИСС»).

Система, предназначена для обеспечения:

а) контроля и управления в структуре НАКУ КА НЭСН и измерений через космические аппараты (КА)-ретрансляторы существующими и перспективными объектами ракетно-космической техники (РКТ)

социально-экономического и, при необходимости, специального назначения на всех этапах их полета (выведение, орбитальный участок, спуск), при испытаниях и штатной эксплуатации:

- низкоорбитальными КА, включая автоматические КА, пилотируемые КА и космическими станциями, в том числе международной космической станцией (МКС);
- ракетами-носителями (контроль);
- разгонными блоками.