

УДК 629.7.048.7

Особенности выбора проектных параметров тепловых аккумуляторов для планетарных миссий

Панин Юрий Вячеславович

PaniniIUV@laspace.ru

Шеленкова Татьяна Александровна

SenshinaTA@laspace.ru

Беляков А.Ю.

BeliakovAIU@laspace.ru

АО «НПО Лавочкина», Химки, Московская обл., Россия

Аннотация. Применение тепловых аккумуляторов в космической технике является эффективным инструментом решения задачи по увеличению времени работы оборудования зондов, десантируемых в среду с высокой окружающей температурой. Эффективность работы ТА в том числе зависит от агрегатов СОТР, отвечающих за его предварительное охлаждение. В настоящей работе будет рассмотрен выбор проектных параметров ТА, использующего теплопровод радиатора на базе контурной тепловой трубы для предварительного охлаждения. Представлен методика расчета ТА позволяющая определять основные проектные параметры ТА используя возможности CAE программы с моделированием фазового перехода плавление/затвердевание с учетом геометрических особенностей конфигурации ТА. Особенность методики заключается в моделировании скрытой теплоты плавления-затвердевания вещества заданием скачка функции удельной теплоемкости от температуры. На основании проведенных расчетов представлены результаты оптимизации конструкции ТА для повышения эффективности захлаживания и расплава ТАМ на этапе подготовки и эксплуатации ТА.

Ключевые слова: тепловой аккумулятор, ТАМ, фазовый переход, проектные параметры, моделирование

Введение. Применение тепловых аккумуляторов в космической технике и в частности для спускаемых аппаратов является эффективным инструментом для решения отдельных задач СОТР. В настоящей работе рассматривается СОТР спускаемого аппарата, предназначенного для автономной работы на поверхности на Венеры. В данном случае задачей теплового аккумулятора является увеличение времени активного существования приборного контейнера спускаемого аппарата при постоянном нахождении СА в зоне экстремальных температур при отсутствии возможности сброса тепловой мощности в окружающее пространство.

Опыт советских Венер показал, что при воздействии на корпус КА внешней среды с температурой около 475 °С и отсутствии возможности отводить тепло в окружающую среду, тепловой режим внутри оболочки СА КА Венера может эффективно обеспечиваться с помощью ТА, представляющего собой сегмент сферы с трубками с оребренной поверхностью для увеличения площади теплообмена. В качестве ТАМ использовался литий азотнокислый. ТА располагался в герметичном контейнере заполненным газом и позволял поддерживать рабочий режим оборудования в течение часа.

Подготовка ТА к работе на поверхности планеты обеспечивалась перед отделением СА от орбитального аппарата захлаживанием приборного контейнера с помощью газового радиатора, заправленного азотом до достижения минимально возможной температуры оборудования. Температура фазового перехода лития азотнокислого 30°C , но степень переохлаждения около 40°C . ТА охлаждался ниже температуры фазового перехода материала, что гарантировано обеспечивало подготовку ТА к поглощению тепла после включения оборудования и внешнего теплового воздействия атмосферы Венеры [1].

Концепция СОТР перспективного спускаемого аппарата для исследования поверхности планеты Венера, главным образом отличается применением для предварительного захлаживания ТА принципиально нового устройства — теплопровода радиатора на базе контурной тепловой трубы и расположением приборов непосредственно на ТА. В данной схеме эффективность захлаживания ТА кроме параметров теплопровода существенно зависит от конструкции узла соединения испарителя теплопровода и ТА, а эффективность охлаждения приборов от объема, расплавленного в заданный период времени ТАМ. Неравномерный подвод может привести к тому, что более мощные приборы будут перегреваться из-за недостаточной теплопроводности ТАМ, в то время как оставшаяся часть объема ТАМ не будет задействована в фазовом переходе.

В настоящей работе рассмотрена тепловая схема: теплопровод радиатора — ТА — приборное оборудование. Проведена оценка эффективности узла соединения ТА с испарителем теплопровода радиатора на базе контурной тепловой трубы и предложены варианты повышения эффективности захлаживания ТА за счет модернизации узла испаритель — ТА, а также конфигурации самого ТА и его внутренней структуры.

Эффективность основной функции ТА по обеспечению температурного режима приборного оборудования проведена с учетом циклограммы работы, установленного на него оборудования. Для чего будет проведен тепловой расчет, основанный на предложенной методике. Особенность методики расчета ТА заключается в использовании САЕ программы с моделированием фазового перехода плавление/затвердевание и возможности варьировать геометрические параметры ТА в виде твердотельной модели в зависимости от результата расчета. Методика использует подход к моделированию скрытой теплоты плавления-затвердевания вещества заданием скачка функции удельной теплоемкости от температуры, что позволяет сократить расчетное время задачи и использовать конечно-элементную модель [2, 3].

Заключение. Представленный в работе подход позволил оценить области в объеме ТА с неравномерно затвердевшим или расплавленным ТАМ, на основании чего проведена модернизация конфигурации узла стыковки с испарителем и внутренней структуры ТА позволяющая увеличить время работы ТА. Методика представленная в работе позволяет разрабатывать конструкцию ТА с прогнозируемыми тепловыми параметрами.

Список источников

- [1] Финченко В.С., Котляров Е.Ю., Иванков А.А. *Системы обеспечения тепловых режимов автоматических межпланетных станций*. Химки, НПО Лавочкина, 2018, 399 с., с. 386–399.
- [2] Шеленкова Т.А., Панин Ю.В. К выбору проектных параметров теплового аккумулятора на основе тригидрата нитрата лития с применением программных пакетов симуляции физических процессов. *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*, 2024, № 4, с. 109–115.
- [3] Алексеев В.А. *Основы проектирования тепловых аккумуляторов космических аппаратов*. Курск, Научком, 2016, 248 с.