

ГОД РОССИЙСКОЙ КОСМОНАВТИКИ

НА МАРС — БЕЗ ЛИШНЕГО БАГАЖА

РАДИАТОР БЕЗ КОРПУСА — МЕЧТА ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

Максимум полезной нагрузки — необходимое условие таких космических проектов, как пилотируемая экспедиция на Марс. Над этим по разным направлениям активно работают российские ученые.



Нем глубже человечество проникает в Космос, тем острее встают проблемы энерговооруженности космической техники. Потребные мощности энергоустановок для космических приложений непрерывно возрастают и, как следствие, увеличивается количество избыточного тепла, которое необходимо отводить в космическое пространство.

Особую актуальность этот вопрос приобретает для долговременных космических экспедиций, таких, как планируемая в ближайшем будущем пилотируемая экспедиция на Марс. Здесь мы имеем дело с несравними по масштабам с существующими мощностью энергоустановки (более десятка МВт) и временным интервалом ее работы.

Для отвода тепла традиционно используют радиационные теплообменные устройства — панельные радиаторы (трубчатые, трубчато-ребристые). Основными требованиями, предъявляемыми к космическим радиаторам, являются: радиационная эффективность,

малая удельная масса и долговременная надежность в условиях метеоритной опасности. Понятно, что при увеличении мощности энергоустановки габариты радиаторов увеличиваются, а с ними — массы собственно радиатора и бронировки, защищающей корпус от пробоя метеоритами. Доля бронировки может составлять до 30 % от общей массы радиатора.

В результате, в космических аппаратах (КА) с энергоустановками больших мощностей (свыше 100 кВт) общая масса радиатора может составить существенную часть (до 60 %) от полезной нагрузки КА.

В связи с этим в конце 1970-х годов появились новые концепции радиаторов — пылевых и капельных, в которых вместо твердых излучающих поверхностей используются свободные потоки теплоносителя в виде субмиллиметровых частиц, излучающих отходящее тепло непосредственно в космос (рис. 1).

Такие, практически безкорпусные радиаторы, по сравнению с традиционными твердотельными, обладают су-

щественно меньшей массой.

Вначале в качестве теплоносителя рассматривались потоки твердых пылинок, но проблемы в управлении частицами, а также низкая эффективность нагрева частиц ограничили интерес к этому подходу.

Как вариант этой концепции предлагался так называемый радиатор точки Кюри, когда поток твердых ферромагнитных металлических частиц нагревается выше их точки Кюри и выпускается в космос. Вследствие излучения теплоты температура частиц понижается ниже точки Кюри, и магнитное поле направляет магнитные частицы в коллектор. Однако такой процесс слабо изучен. Кроме того, требуются сложные и массивные вспомогательные системы. В частности, большие магниты, требуемые в соответствии с этой концепцией, могут приводить к массам радиаторов, сравнимым с массами традиционных радиаторов.

Поэтому последующие исследования были сфокусированы на более легко управляемой жидко-капельной

концепции радиатора. Здесь также рассматривались варианты использования различных теплоносителей: жидкометаллические (например — олово) и жидкие (например — масло минеральное, силиконовое). В первом случае имеют место очень сложные проблемы выключения радиатора, состояния бездействия и перезапуска, связанные с замораживанием и размораживанием металлического теплоносителя.

Для уменьшения возможных потерь каплей предлагалось заряжать их электростатически, ограничив силовыми линиями поля между заряженным генератором и поверхностями коллектора. Но последующий анализ показал, что зарядка каплей будет сведена на нет плазмой окружающего космоса.

Таким образом, усилия исследователей сосредоточились на концепции капельного радиатора, использующего жидкий теплоноситель. Такие радиаторы в отечественной практике называют капельными холодильниками-излучателями (КХИ), а в зарубежной — жидко-капельными радиаторами (LDR — Liquid Droplet Radiator) — рис. 1.

В КХИ реализуется замкнутый рабочий цикл: теплоноситель, нагретый в теплоотводящем теплообменнике энергоустановки, подводится к генератору (генераторам) каплей (ГК), из которого в окружающее космическое пространство испускается направленный капельный поток. Пролетая определенное расстояние до коллектора-сборника, капельный поток излучает часть энергии и остывает. Коллектор-

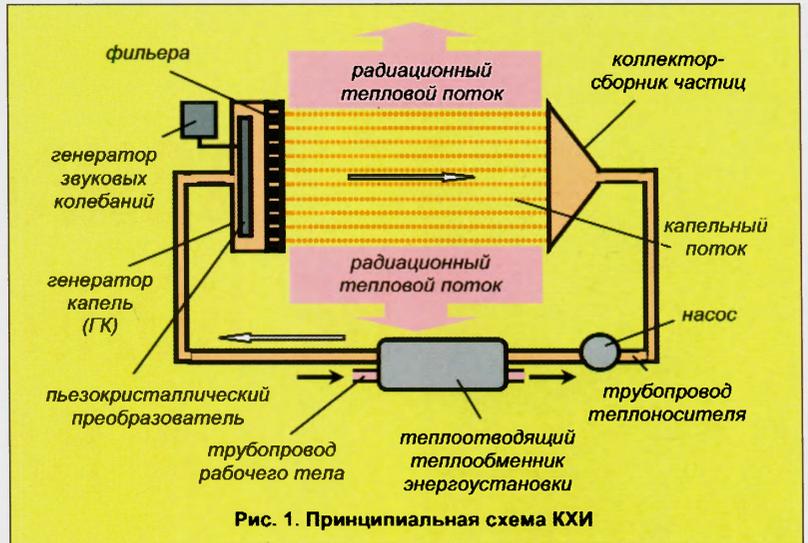


Рис. 1. Принципиальная схема КХИ

сборник собирает охлажденные капли в сплошной поток жидкости, который направляется в теплоотводящий теплообменник.

Такие радиаторы обладают гораздо лучшими, чем традиционные, массовыми характеристиками. Так, например, для космической станции с необходимой мощностью теплоотвода 200 кВт традиционные радиаторы будут весить 3500 кг, тогда как система КХИ — всего 500 кг, то есть в 7 раз (!) меньше.

Поскольку поверхность излучения КХИ намного более развита, чем у современных, например трубчаторебристых радиаторов, то при возрастании мощности теплоотвода масса последних увеличивается гораздо больше, чем масса КХИ. Поэтому можно представить, какой существенный выигрыш в увеличении полезной нагрузки полу-

чится при мощности теплоотвода КА марсианской экспедиции.

Исследования по созданию КХИ наиболее продвинуты в России и США. В России они проводятся в ФГУП «Центр Келдыша», МАИ, РКК «Энергия», МЭИ-ТУ. Концептуальные испытания КХИ проведены в вакуумной камере на орбитальной станции «Мир» в 2000 году. В США выполнены исследования в нескольких фирмах и университетах (McDonnell Douglas, Grumman Space Systems Bethpage, Lewis Research Center, The University of Michigan и др.). Аналогичный российский концептуальный эксперимент проведен в летающей лаборатории — самолете Боинг КС-135А.

Лидирующим процессом цикла КХИ является генерация капельного потока. В частности, капли должны быть не только очень малыми (100—300 мкм), чтобы обеспечить эффективную теплоотдачу, но и одного размера (моностерпсные), иначе более мелкие могут замерзнуть. И должны следовать с одинаковым шагом (упорядоченно). Для того чтобы «не потеряться» и не столкнуться, траектории каплей должны иметь малую дивергенцию. Кроме того, они не должны испаряться, чтобы минимизировать потери теплоносителя.

В этой связи особенностью разработки КХИ является то, что при проектировании ГК многие требования приходится удовлетворять на компромиссной основе (рис. 2).

Главным физическим механизмом в генерации каплей является вынужденный капиллярный распад струй теплоносителя, исследование которого имеет длинную историю.

(Окончание следует)

Константин МИТРОФАНОВ,
Валерий НАУМОВ,
кандидат технических наук

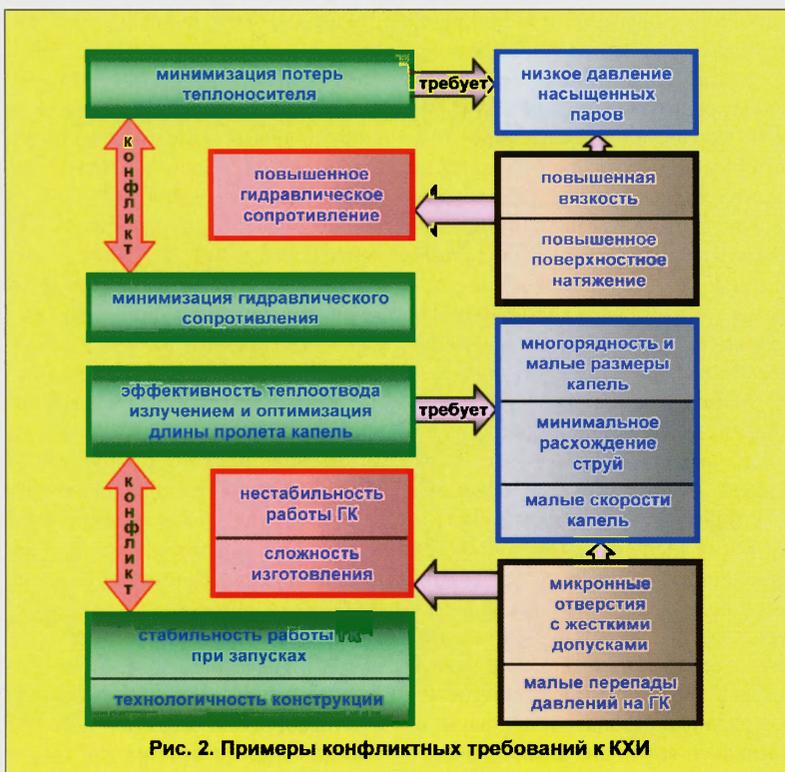


Рис. 2. Примеры конфликтных требований к КХИ