

## Технологическая интеграция низкотемпературных исследований на РС МКС и оптимизация экспериментальной аппаратуры

С.В. Бускин<sup>1</sup>, Ю.Е. Левицкий<sup>2</sup>, В.И. Лукьященко<sup>1</sup>,  
И.Ю. Репин<sup>1</sup>, В.В. Суворов<sup>1</sup>, В.А. Шувалов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГУП ЦНИИМАШ, г. Королев Московской обл., 141090, Россия  
E-mail: vadim\_suvorov@hotmail.com

<sup>2</sup> Росавиакосмос, Москва, Россия

Статья поступила в редакцию 19 декабря 2002 г.

Рассматривается принцип интеграции низкотемпературных исследований, планируемых к постановке на борту Российского сегмента МКС, с учетом особенностей криогенной экспериментальной аппаратуры, включающей объект исследования и систему криостатирования. Исследуются системные вопросы создания универсальной криогенной лаборатории на орбитальной станции для проведения космических экспериментов с глубоким охлаждением в условиях микрогравитации. Приведены блок-схема лаборатории и классификация оборудования, а также требования к экспериментальной аппаратуре.

PACS: 05.70.Ln, 05.70.Jk

### 1. Введение

Криогенное оборудование, необходимое для низкотемпературных исследований в космическом пространстве, довольно дорого и громоздко, причем в каждом конкретном случае система криогенного обеспечения помимо емкости с криогенной жидкостью может включать разделители жидкости и пара, системы перелива хладагента, управления, диагностики и др. Эти системы имеют много общих элементов. Поэтому представляется целесообразным выделить в отдельную группу все эксперименты на станции, требующие глубокого охлаждения, и для выполнения этих исследований создать специализированную криогенную рабочую площадку с единой универсальной системой охлаждения — криогенное универсальное рабочее место. Наличие такой площадки на борту Российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) позволит проводить широкий класс научных и технологических исследований: изучение физических свойств криогенных жидкостей в условиях микрогравитации и невесомости; отработку методов криостатирования больших объемов жидкостей на уровне гелиевых температур, методов доставки криогенных жидко-

стей на борт и дозаправки бортовой станции в космических условиях; испытания бортовых рефрижераторов гелиевого уровня; отработку технологии экспериментальных исследований с применением мощных сверхпроводящих систем на борту космических аппаратов; научные исследования в различных областях знаний с применением криогенной аппаратуры высокого разрешения и т.п.

Наличие специализированного рабочего места на борту создает предпосылки для оптимизации научной аппаратуры каждого конкретного эксперимента по следующим показателям: снижение веса и габаритов доставляемого экспериментального оборудования; упрощение процесса предстартовой подготовки; повышение степени безопасности эксплуатации бортового оборудования.

По сравнению с постановкой отдельных низкотемпературных экспериментов, интеграция криогенного технологического оборудования на единой площадке приводит к следующим преимуществам:

— многократное применение базового оборудования, устанавливаемого на борту, сокращает грузопоток и позволяет доставлять на станцию сменные экспериментальные ячейки при нормальных усло-

виях (без предварительного охлаждения и соответствующих систем криостатирования);

- возможность одновременного проведения нескольких разноплановых исследований;

- увеличение длительности экспериментов, поскольку время проведения испытаний не ограничивается запасами криоагентов, доставляемых с Земли одновременно с экспериментальным оборудованием;

- стандартизация технологии проведения низкотемпературных экспериментов увеличивает их безопасность, появляется возможность организации нескольких уровней охлаждения и более полного использования хладагентов.

## 2. Организация криогенной площадки

Первые исследования особенностей работы технических устройств с жидким гелием в условиях космического пространства были выполнены еще в конце 60-х [1]. По мере развития космической техники количество низкотемпературных экспериментов и требования к бортовой криогенной аппаратуре заметно возрастают [2,3].

Анализ показывает, что по принципу применения можно выделить следующие элементы: криогенные датчики и термометры, охлаждаемые приемники излучения; криоэлектроника и магнитометрия, высокоразрешающая измерительная аппаратура; сверхпроводящие системы, предназначенные для создания сильных магнитных полей; автономные средства метрологического обеспечения (атомные часы, стандарты частоты и т.п. устройства). В той или иной комбинации указанные элементы используются как в фундаментальных научных исследованиях, так и при проведении технологических экспериментов на космических аппаратах, поэтому их разработка и совершенствование в наземных лабораториях и в условиях космических экспериментов относится к числу актуальных задач современной космической техники и технологии.

Известно, что любой низкотемпературный космический эксперимент (или экспериментальная аппаратура) включает две составляющие: первая — это собственно изучаемый низкотемпературный объект (приемник, генератор, соленоид, СКВИД, криогенная жидкость или твердое тело и т.д.), вторая — криогенная система, которая выполняет служебную функцию по созданию и поддержанию требуемых условий. Причем стоимость создания служебной аппаратуры может во много раз превосходить стоимость первой части. После завершения эксперимента вся аппаратура, как правило, снимается с орбиты. В связи с этим представляется целесообразным создать на МКС криогенную площадку с общим криогенным оборудованием, контрольно-диаг-

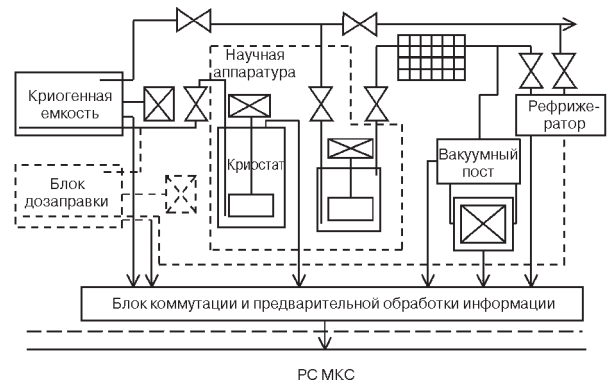


Рис. 1. Блок-схема криогенного рабочего места на РС МКС.

ностической аппаратурой, энергетикой, информационно-управляющим обеспечением (см. рис. 1). При этом собственно объект экспериментальных исследований будет доставляться на криогенное универсальное рабочее место (КУРМ) станции и устанавливаться на соответствующий унифицированный узел.

В предлагаемом нами проекте предполагается, что на борту РС МКС будет три подобных места: для исследований физики криогенных жидкостей и газов; для исследований в сильных магнитных полях и для экспериментов, требующих применения криогенной измерительной аппаратуры. Отдельно можно рассматривать астрофизический узел с малым космическим аппаратом, включаемый в инфраструктуру МКС.

Несмотря на разнообразие экспериментов, их объединяет наличие общего базового оборудования на борту космического аппарата, такого как емкости с криогенными жидкостями, системы транспортировки жидкости и холодного пара, рефрижераторы, системы контроля и управления параметрами криостатов, системы сбора и обработки научной информации. По сравнению с использованной ранее системой постановки криогенных экспериментов, использование КУРМ обеспечивает возможность многократного применения базового оборудования, стационарно установленного на борту РС МКС, что сокращает грузопоток, позволяет доставлять экспериментальные ячейки на борт в «сухом» виде (без криоагентов) и заметно увеличивать продолжительность экспериментов. В связи со стандартизацией технологии проведения работ увеличивается их безопасность и появляется возможность организации одновременно нескольких уровней охлаждения с целью более полного использования отработанного хладагента. Это повышает конкурентоспособность РС МКС при обсуждении возможностей постановки научных и технологических исследований

в космосе на коммерческой основе. По существу, КУРМ будет выполнять роль постоянно действующей криогенной лаборатории, предназначенной для создания сервисных условий работы и проведения экспериментов в условиях низких температур на борту РС МКС, а также для исследования физических процессов в самих криогенных жидкостях и сосудах, заполненных этими жидкостями.

В соответствии с этим все оборудование КУРМ можно разбить на несколько групп:

1. Постоянное служебное оборудование — оборудование, необходимое для проведения всех экспериментов, которое включает системы криостатирования, дозаправки емкостей и транспортировки криоагентов, аппаратуру для контроля параметров криоагентов и обеспечение безопасности КУРМ; блоки электропитания служебной аппаратуры КУРМ и научного оборудования; блоки сбора, обработки, хранения и передачи научной и служебной информации.

2. Сменное служебное оборудование — оборудование, которое видоизменяется в зависимости от характера исследований: рефрижераторы для ожижения холодного пара; роботы-манипуляторы для монтажа, замены и демонтажа научной аппаратуры и служебного оборудования; рабочие площадки, штанги и фермы для размещения научной аппаратуры; специфические средства наблюдения за ходом эксперимента, магнитометры, анализаторы состава собственной атмосферы, датчики электрических полей и т.п.

3. Научная аппаратура, к которой относится специальная аппаратура, разрабатываемая и поставляемая постановщиком эксперимента и содержащая объект исследований, специальные (отсутствующие в составе КУРМ) средства контроля и управления ходом эксперимента, а также система сбора специальной информации. Эта аппаратура должна быть по всем параметрам совместима со служебными системами КУРМ и не должна дублировать его возможности. Оборудование может быть размещено внутри исследовательского модуля (ИМ) РС МКС и вне его. Выбор конкретного варианта КУРМ зависит от программы планируемых низкотемпературных экспериментов.

Процесс развертывания КУРМ можно разделить на несколько этапов.

*Этап 1* — вывод на орбиту ИМ с оборудованием КУРМ, находящимся внутри специализированного отсека ИМ, проверка работоспособности оборудования; доставка на орбиту и размещение на индивидуальных рабочих площадках научной аппаратуры в собственных криостатах для проведения кратковре-

менных экспериментов; начало формирования рабочей платформы по выбранному варианту.

*Этап 2* — завершение формирования рабочей платформы; отработка систем дозаправки и транспортировки криоагентов; проверка работоспособности робота-манипулятора; контроль научной аппаратуры; начало экспериментов на унифицированных площадках с использованием криоресурсов КУРМ.

*Этап 3* — развертывание программы экспериментов с использованием расходуемых криоресурсов КУРМ; начало эксплуатации рефрижераторов.

*Этап 4* — полномасштабная эксплуатация КУРМ. Сроки реализации каждого этапа зависят от варианта формирования рабочей платформы и возможностей грузопотока и определяются на этапе эскизного проектирования.

#### *Требования к научной аппаратуре*

На первом и, частично, втором этапах развертывания КУРМ научная аппаратура (НА) поставляется в собственных криостатах с необходимым запасом криогенной жидкости. Научная аппаратура должна удовлетворять требованиям работы в открытом космосе. Электропитание аппаратуры, контроль параметров криогенных жидкостей, сбор и обработка информации осуществляются средствами КУРМ. Научная аппаратура должна допускать монтаж на внешней поверхности ИМ, а также подключение к кабельной сети КУРМ оператором в режиме «Выход». Дренаж криоагента должен осуществляться через монтажные сопла. На втором (частично) и на последующих этапах научная аппаратура поставляется в теплом «сухом» криостате. Этот криостат монтируется на унифицированной рабочей площадке и подсоединяется к криогенной системе КУРМ, которая обеспечивает требуемый температурный режим эксперимента за счет собственных ресурсов. Одновременно происходит подключение НА к системе электропитания и сбора информации. После отработки проточной системы охлаждения НА возможна ее доставка на борт без криостата.

#### *Замена научной аппаратуры*

На первом и втором этапах демонтаж аппаратуры производится оператором в режиме «Выход» после завершения (или прекращения) эксперимента. При необходимости на эту же рабочую площадку монтируется новая аппаратура. На втором и последующих этапах монтаж, демонтаж и замена аппаратуры на унифицированных площадках производится роботом-манипулятором. Использованная аппаратура

возвращается на Землю или утилизируется иным образом.

Существующий научно-технический и технологический задел в области криогенной техники, прикладной сверхпроводимости и криоэлектроники, имеющийся в РФ, достаточен для реализации Концепции КУРМ РС МКС. Это позволило бы российским и зарубежным ученым проводить на РС длительные научные и прикладные исследования с меньшими усилиями.

1. А.Б. Фрадков, В.Ф. Троицкий, *Труды ФИАН* **77**, 85 (1974).
2. С. Jewell, *Overview of Cryogenic Development in ESA*, Proceedings of the Sixth European Symposium on Space Environmental Control Systems (1997), p. 447.
3. В. Collaudin and N. Rando, *Cryogenics* **40**, 797 (2000).

#### Technology integration of the low-temperature studies aboard the ISS RS and optimization of the experimental equipment

S.V. Buskin, Yu.E. Levitskii, V.I. Lukjashchenko, I.Yu. Repin, V.V. Suvorov, and V.A. Shuvalov

The principle of integration of the low-temperature studies to be performed aboard the ISS Russian Segment is considered with taking into account the peculiarities of the cryogenic experimental equipment involving the object under study and a cryostating system. The problems of realization of the universal cryogenic laboratory aboard the orbital station to perform space deep-refrigeration experiments under microgravity conditions are investigated. A block diagram of the laboratory and the equipment specifications are given.