

УДК 629.7.06-533.6

А.В. Лоза, Ю.А. Еланский, В.Н. Покатаев, А.А. Карзова

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*Рассмотрена технология применения термоэлектрических охлаждающих модулей для повышения надежности эксплуатации систем термостатирования космических аппаратов в жестких климатических условиях, приведена принципиальная схема термоэлектрической системы охлаждения.*

*Розглянуто технологію використання термоелектричних охолоджувальних модулів для підвищення надійності експлуатації систем термостатування космічних апаратів у жорстких кліматичних умовах, наведено принципову схему термоелектричної системи охолодження.*

*Considered is the application of the thermoelectric cooling modules to enhance the operating reliability of the spacecraft's temperature control system in the severe climatic conditions, schematic diagram of the thermoelectric cooling system is given.*

Для обеспечения работы транспортной системы термостатирования в штатном режиме необходимо бесперебойное функционирование всех ее узлов. Одним из наиболее важных узлов транспортной системы термостатирования является компрессор, обеспечивающий непрерывную подачу воздуха в систему.

Для обеспечения устойчивой работы используемого в транспортной системе термостатирования компрессора (запуск, непрерывное функционирование в течение длительного времени и т.д.) необходима температура потребляемого из окружающей среды воздуха не более 40 °С. В то же время при эксплуатации транспортной системы термостатирования в районах с тропическим влажным и тропическим сухим климатом (места расположения пусковых центров РКН "Маяк") температура воздуха окружающей среды около заборного устройства транспортной системы термостатирования может превосходить указанное значение доходя до 55 °С. При такой температуре компрессор может не запуститься и транспортная система термостатирования не сможет нормально функционировать.

При разработке транспортной системы термостатирования рассмотрена возможность применения на входе заборного устройства дополнительных систем охлаждения воздуха, функционирующих до запуска транспортной системы термостати-

рования. Основным требованием к таким системам является их запуск и бесперебойное функционирование при температуре окружающей среды 55 °С.

Одним из наиболее перспективных решений является применение дополнительной системы охлаждения на основе термоэлектрических модулей (ТЭМ).

В качестве дополнительной системы охлаждения рассмотрено устройство на основе термоэлектрических модулей, разрабатываемое ГП "КБ "Южное". ГП "КБ "Южное" имеет большой опыт создания систем термостатирования космических аппаратов. Система охлаждения на основе термоэлектрических модулей обеспечит надежное охлаждение воздуха, подаваемого в компрессор транспортной системы термостатирования.

Термоэлектрический модуль используется для охлаждения либо нагрева при помощи электрического тока (эффект Пельтье) [1].

Единичным элементом термоэлектрического модуля является термопара, состоящая из двух разнородных элементов с р- и n-типом проводимости. Элементы соединяются между собой при помощи коммутационной пластины из меди. В качестве материала элементов традиционно используются полупроводники на основе висмута, теллура, сурьмы и селена. ТЭМ представляет собой совокупность термопар, электрически соединенных, как правило, после-

довательно. Внешний вид ТЭМа приведен на рис. 1.

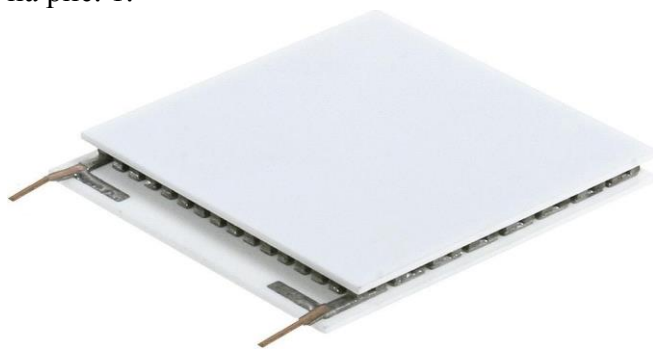


Рис. 1. Термоэлектрический модуль для системы охлаждения

Принципиальная схема термоэлектрического модуля приведена на рис. 2.

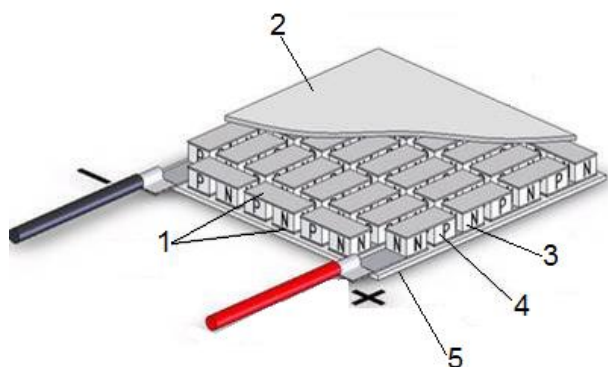


Рис. 2. Принципиальная схема термоэлектрического модуля:

1 – проводник (медь); 2 – холодная сторона (изолятор); 3 – полупроводник n-типа; 4 – полупроводник p-типа; 5 – горячая сторона (изолятор)

В стандартном термоэлектрическом модуле термопары помещаются между двух плоских керамических пластин на основе оксида или нитрида алюминия. Количество термопар может изменяться в широких пределах – от единиц до сотен пар, что позволяет создавать ТЭМы практически любой холодильной мощности – от десятых долей до сотен ватт. При прохождении через ТЭМы постоянного электрического тока между его сторонами образуется перепад температур: одна сторона (холодная) охлаждается, а другая (горячая) – нагревается [2].

Если с горячей стороны ТЭМа обеспечить эффективный отвод тепла, например, с помощью радиатора, то на холодной стороне можно получить температуру, которая

будет на десятки градусов ниже температуры окружающей среды. Степень охлаждения будет пропорциональной величине тока. При смене полярности тока горячая и холодная стороны меняются местами [3].

Основными преимуществами термоэлектрической системы охлаждения является отсутствие движущихся частей и, как одно из следствий, вибраций, а также отсутствие необходимости применения жидкостей или газов под высоким давлением (преобразование происходит в самом термоэлектрическом веществе). ТЭМы устойчивы к воздействию солнечной радиации, пылевых бурь, высоких и низких температур, повышенной влажности. Работоспособность не зависит от пространственного положения и наличия гравитации. Термоэлектрическую систему охлаждения можно применять при больших и малых перепадах температур между холодной и горячей сторонами ТЭМа. Все вышеперечисленные преимущества делают термоэлектрическую систему охлаждения оптимальной для применения в качестве дополнительной системы охлаждения компрессора транспортной системы термостатирования, используемой в жестких климатических условиях пусковых центров РКН "Маяк". К недостаткам термоэлектрической системы охлаждения можно отнести высокое энергопотребление и сравнительно низкий холодильный коэффициент.

Система охлаждения воздуха, поступающего в систему термостатирования, представляет собой два независимых контура охлаждения, имеющих по два теплообменника. Первый контур включает в себя радиатор системы охлаждения поступающего воздуха из окружающей среды в головной блок ракеты и теплообменник для охлаждения теплоносителя термоэлектрическими модулями. Второй контур – теплообменник, предназначенный для отвода тепла с горячей грани термоэлектрических модулей, и радиатор для сброса тепла в окружающую среду. Принципиальная схема предложенной системы охлаждения приведена на рис. 3.

Ориентировочные технические характеристики системы охлаждения на основе термоэлектрических модулей, полученные

в результате предварительных расчетов по исходным данным технического задания

для транспортной системы термостатирования РКН "Маяк", приведены в таблице.

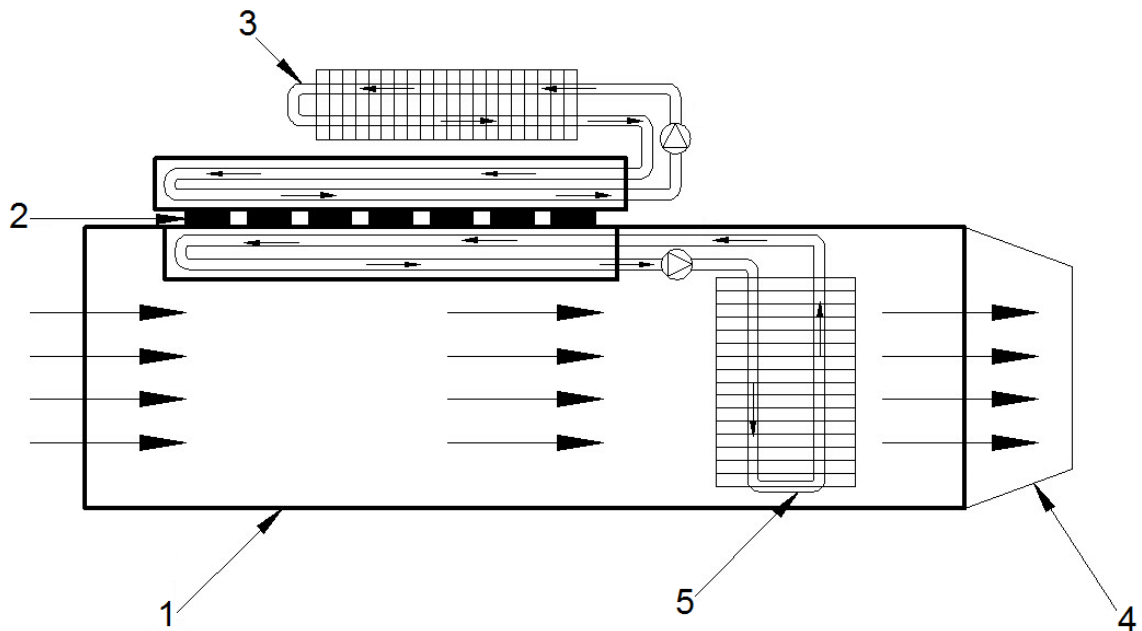


Рис. 3. Принципиальная схема системы охлаждения воздуха термоэлектрическими модулями: 1 – корпус термоэлектрической системы охлаждения; 2 – блок термоэлектрических модулей для охлаждения воздуха; 3 – контур отвода тепла в окружающую среду; 4 – вход в воздухозаборник компрессора; 5 – контур охлаждения воздуха

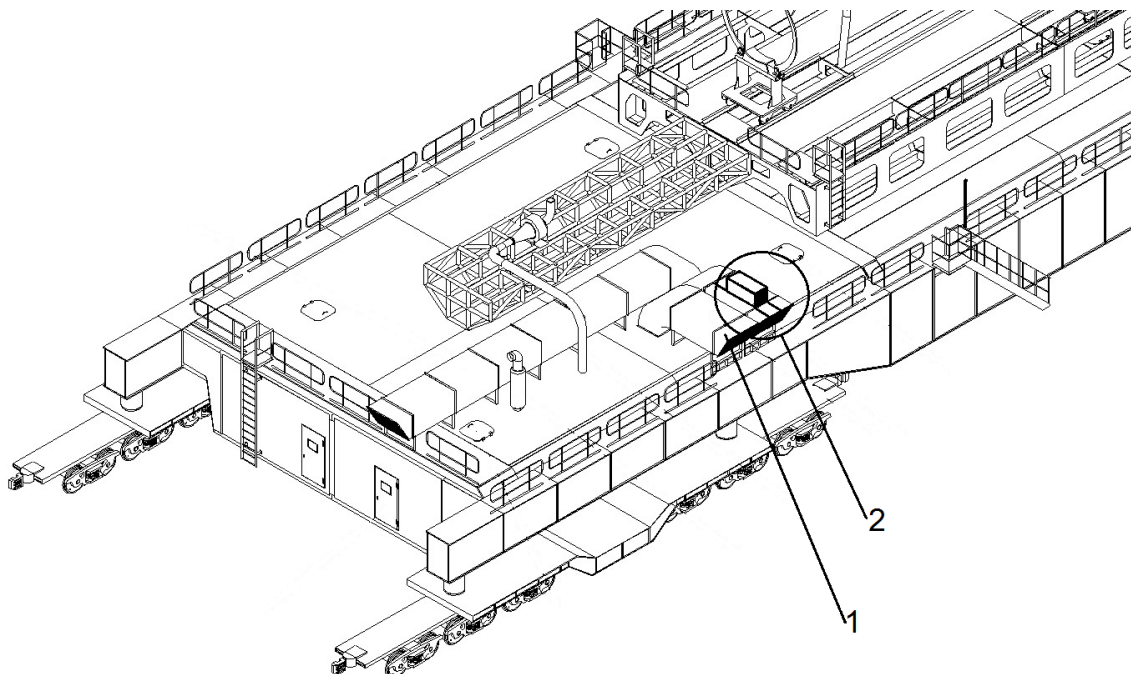


Рис. 4. Пример расположения дополнительной системы охлаждения на транспортной системе термостатирования РКН "Маяк":  
1 – воздухозаборник компрессора транспортной системы термостатирования;  
2 – термоэлектрическая система охлаждения

Ориентировочные технические характеристики системы охлаждения на основе термоэлектрических модулей

| Параметр  | Значение     |
|---|--------------|
| Габариты, мм  | 1000×700×300 |
| Потребляемая электрическая мощность термоэлектрических модулей, кВт   | 24           |
| Суммарная потребляемая электрическая мощность системы охлаждения, кВт | 28           |
| Холодопроизводительность, кВт   | 11           |
| Максимальный перепад температур $\Delta t$ , °С                       | 15           |
| Максимальный расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч                        | 2600         |

Таким образом, предложенная система охлаждения на основе ТЭМов при наиболее неблагоприятных температурных условиях может обеспечить стабильное снижение температуры заборного воздуха с 55 до 40 °С при расходе воздуха, необходимом для компрессора (до 2600 м<sup>3</sup>/ч), обеспечив этим самым бесперебойное функционирование транспортной системы термостатирования. При этом необходимо обеспечить бесперебойное питание ТЭМов. Согласно предварительным подсчетам габариты

термоэлектрической системы охлаждения позволят разместить ее непосредственно в воздухозаборнике компрессора транспортной системы термостатирования. Пример расположения дополнительной термоэлектрической системы охлаждения на транспортной системе термостатирования РКН "Маяк" приведен на рис. 4.

Испытания системы охлаждения на основе ТЭМов можно провести с применением имеющейся опытной установки ОК 06.1204. Опытная установка ОК 06.1204 предназначалась для испытаний электронагревателя, используемого в системе термостатирования для РКН "Циклон-4".

При помощи нагревателя, используемого в ОК 06.1204, можно симитировать жесткие температурные условия районов расположения пусковых центров РКН "Маяк". Необходима небольшая доработка для присоединения к имеющейся конструкции дополнительной термоэлектрической системы охлаждения. На рис. 5 приведен эскиз доработанной установки ОК 06.1204.

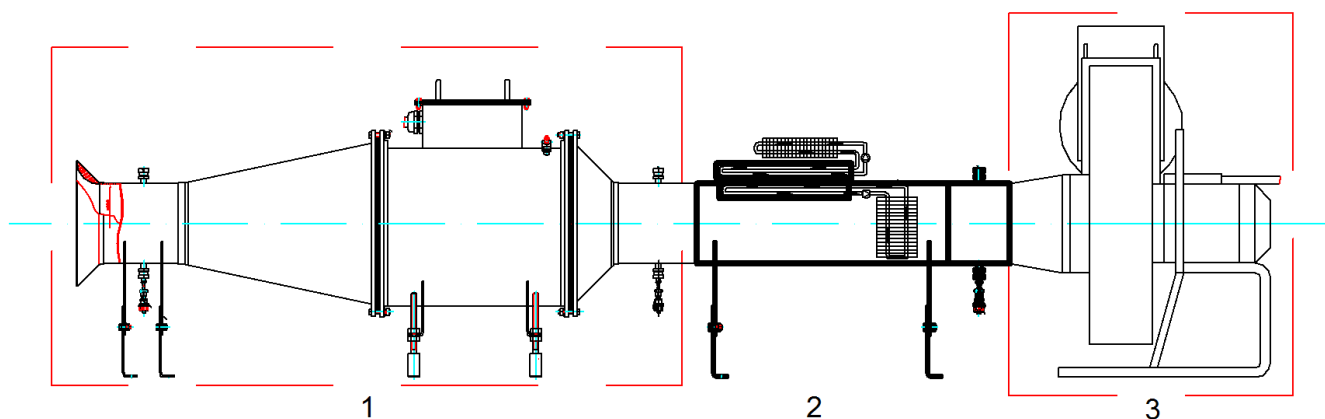


Рис. 5. Эскиз доработанной установки ОК 06.1204:

- 1 – воздухозаборник и электронагреватель воздуха ОК 06.1204;
- 2 – термоэлектрическая система охлаждения; 3 – вентилятор-нагнетатель воздуха ОК 06.1204

Доработанная установка ОК 06.1204 позволит на практике убедиться в эффективности предложенного решения системы охлаждения на базе ТЭМов. Электронагреватель опытной установки ОК 06.1204 будет подогревать воздух до 55 °С, вентилятор обеспечит расход воздуха, анало-

гичный потреблению компрессора транспортной системы термостатирования, и направит поток нагретого воздуха через термоэлектрическую систему охлаждения. Температурные датчики перед термоэлектрической системой охлаждения и после нее позволят контролировать температуру

воздушного потока, а датчики давления – расход воздуха. На доработанной установке ОК 06.1204 можно провести испытания не только термоэлектрической системы охлаждения, но и других дополнительных систем, работающих до запуска транспортной системы термостатирования.

#### **Список использованной литературы**

1. Иоффе А.Ф. Термоэлектрическое охлаждение / А.Ф. Иоффе, Л.С. Стильбанс, Е.К. Иорданишвили, Т.С. Ставицкая. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1956.
2. Голдсмит Г. Применение термоэлектричества / Пер. с англ. под ред. А.Ф. Чудновского. – М.: Физматгиз, 1963.
3. Кораблев В.А., Тахистов Ф.Ю., Шарков А.В. Прикладная физика. Термоэлектрические модули и устройства на их основе: Учеб. пособие / Под ред. проф. А.В. Шаркова. – СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2003.

Статья поступила 20.04.2016