

## СЕКЦИЯ 4 ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

### Определение работоспособности теплоприёмника суммарного теплового потока ФОА-020 после длительного хранения

*А.Ю. Кочетков, Е.В. Шеметова*  
г. Химки АО "НПО им. С.А. Лавочкина". [kochetkov@laspace.ru](mailto:kochetkov@laspace.ru)

*В работе рассматривается вопрос использования теплоприёмника суммарного теплового потока ФОА-020 после длительного хранения при тепловакуумных испытаниях тепловых макетов космических аппаратов.*

*Determination of the operability of the heat sink of the total heat flux after long-term storage. A.Y. Kochetkov, E.V. Shemetova. The paper discusses the use of a heat sink for the total heat flux after long-term storage during thermal-vacuum tests of spacecrafts thermal models.*

Испытания космических аппаратов в термовакуумной камере проводятся с целью подтверждения правильности выбранных проектных решений по тепловому режиму, а также качества сборки.

Одной из основных задач, решаемых при проведении ТВИ является моделирование внешних эксплуатационных нагрузок, в том числе тепловых потоков от Солнца, Земли и других небесных тел. Тепловой поток от Солнца на орбите Земли составляет приблизительно 1400 Вт/м<sup>2</sup>, от Земли на низкой круговой орбите около 200 Вт/м<sup>2</sup>. Для моделирования тепловых потоков необходимо проводить их измерение. Поскольку объект испытаний, как правило, не имеет собственных средств измерения падающих тепловых потоков, обычно применяют стендовые средства измерений. В качестве таких средств измерений применяют теплоприёмники или датчики теплового потока (ДТП).

Одним из лучших образцов ДТП, применяемых при тепловакуумных испытаниях являются датчики ФОА-020, разработанные более 30-ти лет назад в научно-производственном объединении измерительной техники, г. Королёв.

В данной работе рассматривается возможность применения ФОА-020 за пределами заводских гарантий после длительного складского хранения.

В качестве испытуемых образцов были взяты 3 датчика 1987 года выпуска. До 2017 года они хранились на складе при условиях соответствующих требуемым, по технической документации. Согласно заявленным изготовителем характеристикам, срок хранения ФОА-020 в складских условиях в упаковке изготовителя составляет 12 лет. Заявленный срок работы 500 часов. Внешний вид ФОА-020 представлен на рис. 1.

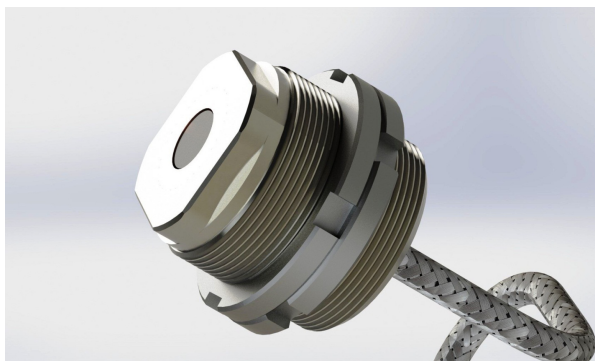


Рис. 1. Внешний вид ФОА-020.

Принцип действия, рассматриваемых датчиков, заключается в осуществлении непрерывного преобразования плотности теплового потока в градиент температуры на тепловоспринимающем элементе (ТВЭ) и преобразование градиента температуры в термоэлектродвижущую силу (термо-ЭДС). Измеряемый тепловой поток поступает в ТВЭ, при этом между центром и краем ТВЭ возникает градиент температуры, который измеряется дифференциальной термопарой. При возникновении градиента температуры на его противоположных гранях наблюдается поперечный эффект Зеебека, т.е. появляется термо - ЭДС при прохождении теплового потока через сечение датчика. Дифференциальная термопара образуется корпусом, ТВЭ и электродом, закрепленным в центре ТВЭ. Значение термо-ЭДС прямопропорционально плотности теплового потока.

Как известно, датчики с поперечным градиентом температуры обеспечивают долговременную работоспособность в условиях вакуумных и циклических изменений температур, что имеет важное значение при проведении тепловакуумных испытаний.

Проверка работоспособности состояла из двух этапов:

- тарировка терморезистора в термокамере;
- тарировка датчика термовакуумной камере методом замещения.

При проверке датчиков использовалось следующее испытательное оборудование: термокамера с диапазоном температур от минус 70 до 180 °С, с точностью поддержания температуры в рабочем объеме  $\pm 1^\circ\text{C}$ , термовакуумная камера с остаточным давлением не хуже  $5 \times 10^{-6}$  мм рт.ст., оснащённая криогенными азотными экранами, универсальный вольтметр В7-78/1, источник питания постоянного тока Instek SPS-3610.

В основу проведения тарировки заложен принцип измерения сопротивления терморезистора и напряжения термо- ЭДС в зависимости от температуры.

На первом этапе датчики помещались в прецизионную термокамеру и выдерживались на заданных температурах заданное время. После того, как датчик выходил на заданную температуру происходила его выдержка в течение 2-х часов для установления заданной температуры. Затем проводилось измерение сопротивления терморезистора. Были проведены замеры на температурах от минус 60 °С до 100 °С. Далее по результатам измерений были построены зависимости сопротивления от температуры. Результаты измерений представлены на рис. 2.

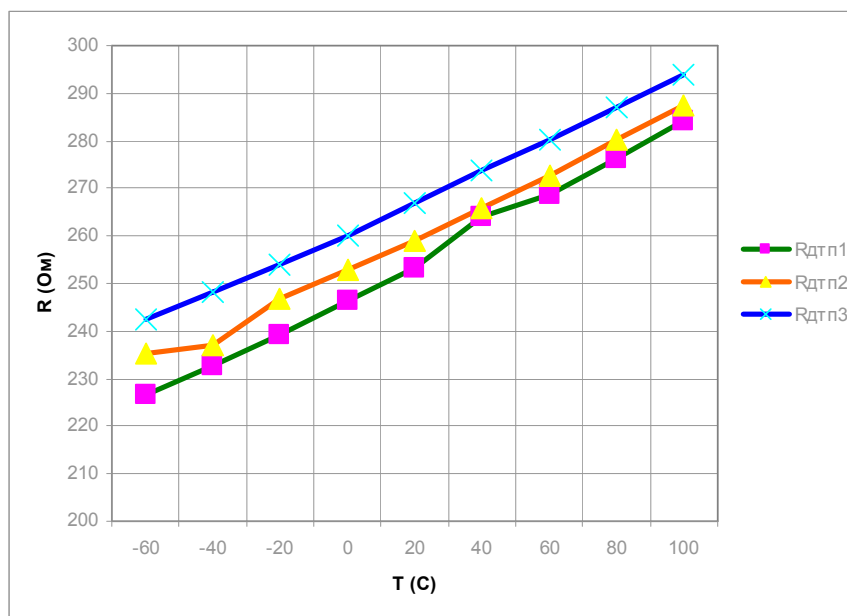
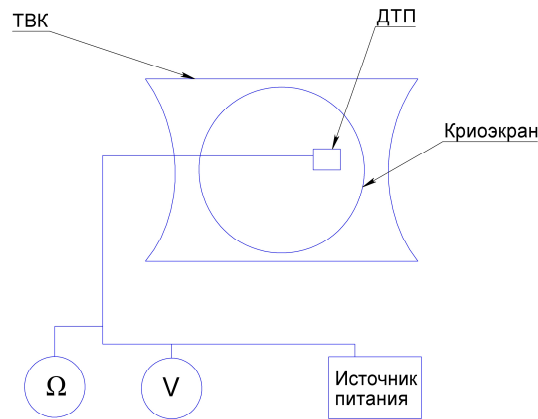


Рис. 2. Зависимость сопротивления терморезистора от температуры.

На графике хорошо видно, что зависимость сопротивления терморезисторов от температуры близка к прямолинейной. Хотя сопротивление терморезисторов различных датчиков отличается, то есть необходима индивидуальная градуировка, в то же время угол наклона прямых практически совпадает, что говорит об отработанной технологии изготовления.

На втором этапе датчики помещались в термовакuumную камеру. Для обеспечения максимально точного воспроизведения условий испытаний условиям работы, датчики устанавливались тепловоспринимающим элементом к криоэкрану с минимальным зазором. Датчики теплового потока ФОА-20 были подключены к источнику питания и системе измерения в соответствии с требованиями эксплуатационной документации. Схема испытательной установки представлена на рис. 3.

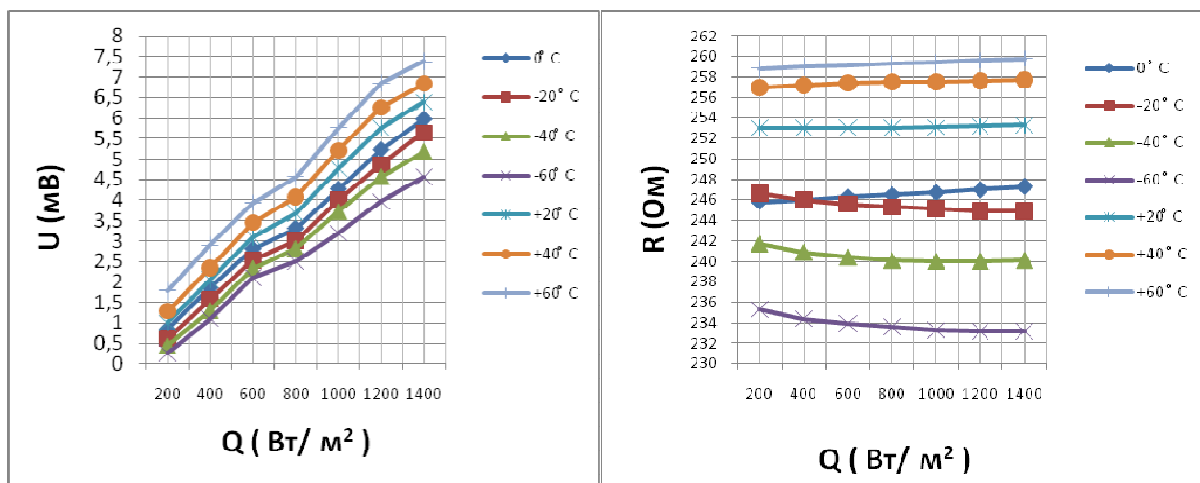


*Рис. 3. Схема испытательной установки.*

В объёме вакуумной камеры создавалось остаточное давление не выше  $1,33 \times 10^{-3}$  Па ( $1 \times 10^{-5}$  мм рт.ст.). Температура криоэкрана устанавливалась от минус 60 °С до 60 °С с шагом 20°С. На встроенный в датчик электронагреватель при помощи источника питания подавалась электрическая мощность, соответствующая тепловому потоку. Соответствие электрической мощности тепловому потоку представлено в таблице 1.

Таблица 1. Соответствие элэтрической мощности тепловому потоку.

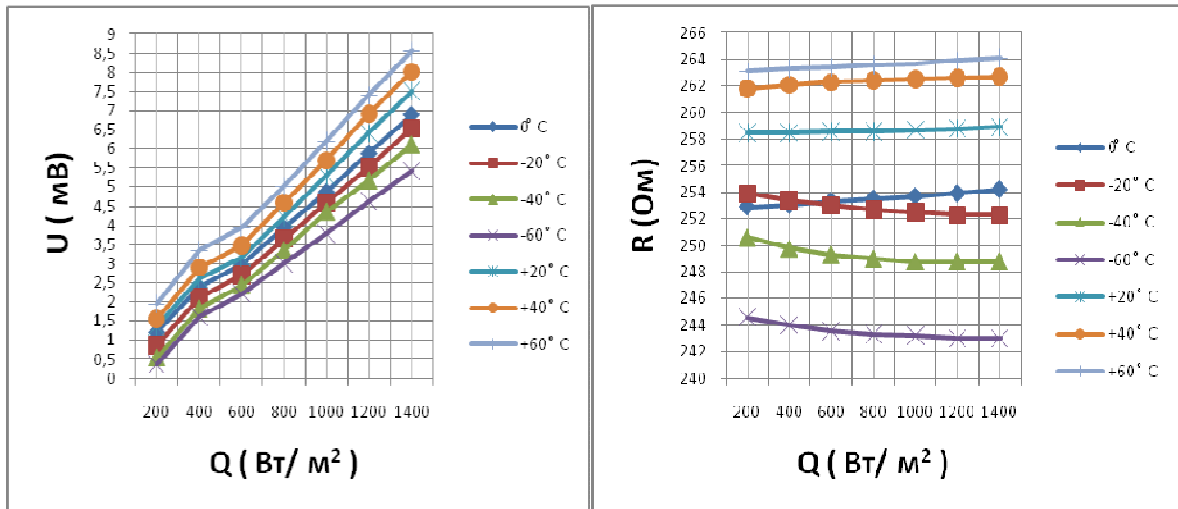
Q (Вт/м <sup>2</sup> )	200	400	600	800	1000	1200	1400
W (Вт)	0,0127	0,0254	0,0381	0,0509	0,0636	0,0763	0,089



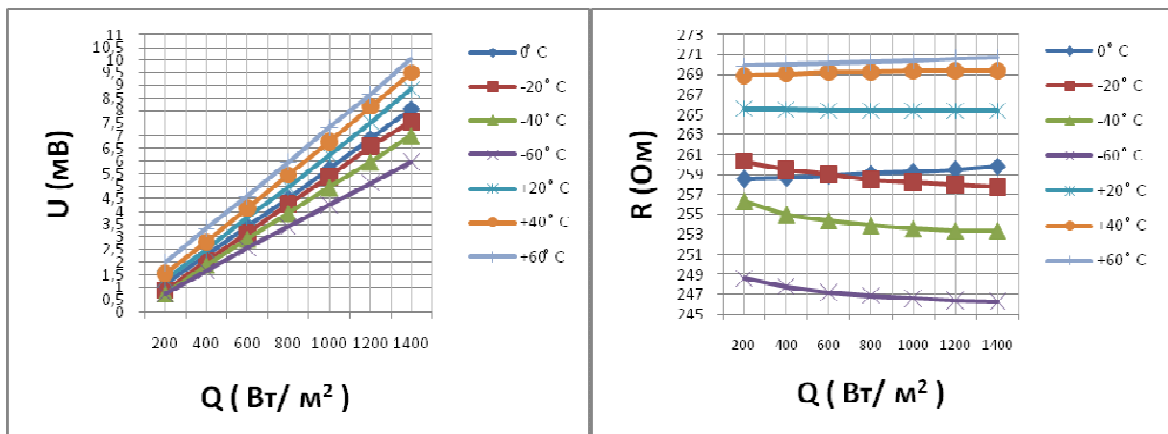
*Рис.4. ДТТ 1.*

Для получения более точных значений датчики выдерживались при каждой заданной мощности не менее 2-х часов. Результаты зависимости электрического сопротивления терморе-

зистора и термо-ЭДС ТВЭ от выделяемой мощности для ДТП № 1, №2 и №3 при различных температурах криоэкрана представлены на рис. 4, 5 и 6.



*Рис.5. ДТП 2.*



*Рис.6. ДТП 3.*

Данная работа показывает, что датчики теплового потока ФОА-020 после более чем тридцатилетнего хранения сохраняют свою работоспособность и могут быть использованы при моделировании внешних тепловых потоков во время проведения тепловакуумных испытаний космических аппаратов в термовакуумной камере.

#### Литература

1. О.Н. Фаворский, Я.С. Каданер. Вопросы теплообмена в космосе. Высшая школа, М, 1972.
2. У. Фрост. Теплопередача при низких температурах. Мир, М, 1977.
3. ОСТ 92 4306-77 Преобразователи первичные теплового потока. Общие технические условия.