

УДК 621.37/39-181.4

## МИКРОКРИОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ С ГАЗОВОЙ КРИОГЕННОЙ МАШИНОЙ ПО КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЕ СПЛИТ-СТИРЛИНГ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ФОТОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

Ю. С. Трошкин, А. Л. Чапкевич

Государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение "Орион"»,  
Москва, Россия

Е. К. Горбунов, О. П. Посевин, А. В. Самвелов

Международный центр фотомикроэлектроники и ночного видения "Орэкс", Москва, Россия

*Описываются преимущества микрокриогенных систем (МКС) с газовой криогенной машиной (ГКМ), работающей по конструктивной схеме Сплит-Стирлинг. Показаны габаритные размеры МКС, ГКМ и электронного блока управления (БУ). Особенности стыковки МКС с различными фотоприемными устройствами (ФПУ) и совместной их работы. Результаты испытаний МКС, в т. ч. с ФПУ.*

Из известных способов охлаждения фоточувствительного элемента (ФЧЭ) глубокоохлаждаемых фотоприемников (ФП) при криостатировании их на уровне  $T_{\text{охл}} = 80 \text{ К}$ , наиболее эффективным является охлаждение газовой криогенной машиной (ГКМ), работающей по обратному циклу Стирлинга [1—6].

В настоящее время широко используются МКС с ГКМ по циклу Стирлинга в интегральном конструктивном исполнении, т. е. в которых поршень компрессора и вытеснителя со встроенным регенератором приводятся в движение от единого электромотора с помощью кривошипно-шатунного механизма.

Подобные МКС, наряду с достоинствами при охлаждении ФПУ, имеют ряд существенных недостатков, заключающихся в том, что из-за непосредственного контакта корпуса ФП с компрессором и электродвигателем ГКМ вибрации, возникающие при работе ГКМ, непосредственно передаются на корпус ФП и его ФЧЭ. Кроме того, близость электродвигателя к электрическим цепям ФП и его усилительного тракта повышает в них уровень шума из-за электромагнитных наводок, что ухудшает параметры аппаратуры.

С целью устранения этих недостатков, а также удобства компоновки МКС в изделии используется МКС с ГКМ, работающей по конструктивной схеме Сплит-Стирлинга. Этот тип МКС отличается тем, что охладитель ГКМ, который стыкуется непосредственно с ФП, удален от компрессора и его приводного электродвигателя и соединяется с ним тонкой трубкой в единый конструктивный узел.

Такое конструктивное решение позволяет снизить уровень электромагнитных наводок на электрические цепи и вибровоздействия на ФП.

В настоящее время в Государственном унитарном предприятии «НПО "Орион"» совместно с Международным центром фотомикроэлектроники и ночного видения "Орэкс" разработано два типа МКС, отличающихся размерами гильз охладителей ТСО-50 и ТСО-63.

Общий вид варианта конструкции МКС типа ТСО-50 приведен на рис. 1.

Общий вид ГКМ МКС ТСО-63 приведен на рис. 2.

Основные параметры МКС типа ТСО-50 и ТСО-63 приведены ниже.

	ТСО-50	ТСО-63
Температура криостатирования, К.....	80	80
Холодопроизводительность, Вт.....	0,7	0,8
Время выхода на рабочий режим ( $T = 80 \text{ К}$ ) при $T_{\text{ос}} = +20 \text{ °С}$ и охлаждаемой тепловой массой 2,6 г в эквиваленте меди, мин.....	< 5	< 5
Размеры гильзы охладителя, мм.....	Ø5x50	Ø5x63

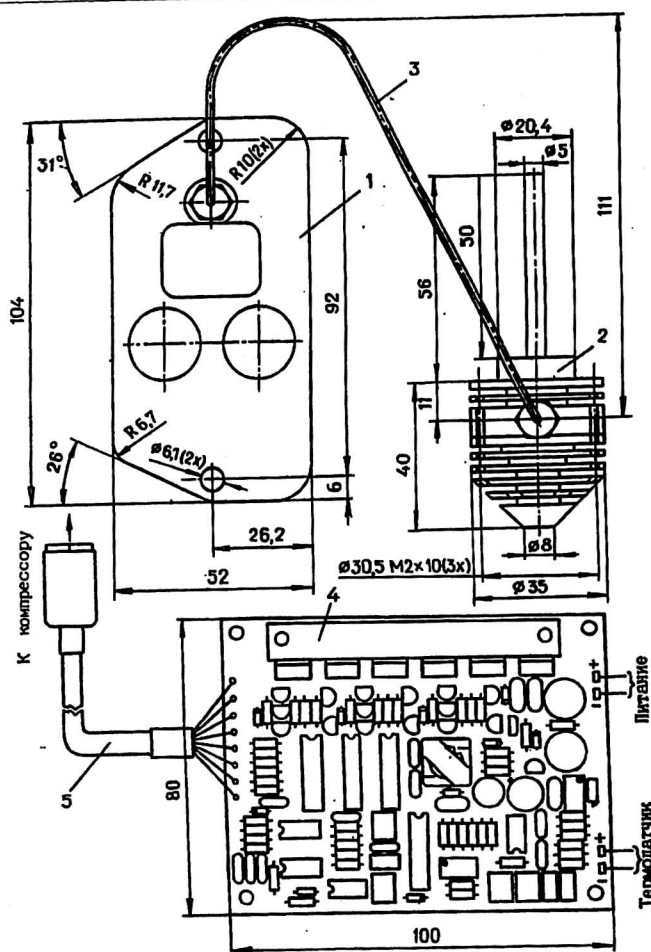


Рис. 1. Микрокриогенная система типа TCO-50 (длина гильзы охладителя 50 мм):  
 1 — компрессор;  
 2 — охладитель;  
 3 — трубопровод соединительный;  
 4 — электронный блок управления (БУ);  
 5 — кабель соединительный ГKM с БУ

Питание MKC осуществляется от источника постоянного тока напряжением 24 В; потребляемая мощность MKC в конце пускового периода при максимальной холодопроизводительности < 50 Вт; масса MKC не более 1,05 кг.

Стыковка охладителя ГKM MKC типа TCO-50 с фотоприемником представлена на рис. 3.

Стыковка охладителя MKC с ФП осуществляется с помощью устройства демпфирующего теплопередающего (УДТ), закрепляемого на "холодном" торце гильзы охладителя с помощью пайки мягким припоем. На противоположный торце УДТ, стыкуемый с дном держателя ФП, наносится тонкий слой теплопроводной мастики, улучшающей тепловой контакт между торцом УДТ и дном держателя. С целью исключения разрушения держателя ФП усилие, с которым УДТ воздействует на дно держателя после их стыковки и затяжки стыковочного фланца к торцу ФП, не должно превышать 1 кг.

УДТ исключает самопроизвольную расстыковку и обеспечивает компенсацию уменьшения длин держателя ФП и "холодного" пальца охладителя ГKM, т. е. исключает самопроизвольную их расстыковку при захолаживании, кроме этого УДТ снижает величину вибровоздействий охладителя на дно ФП.

Для герметизации полости между "холодным" пальцем и внутренней поверхностью держателя устанавливается герметизирующая прокладка в виде тороидального кольца в "теплой" зоне между стыковочными торцами охладителя и ФП. Герметизация исключает возможность проникновения в криозону влаги, других веществ из окружающей среды, которые могут нарушить работоспособность ГKM.



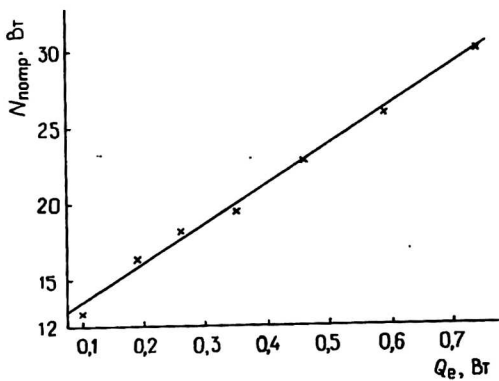
МКС типа ТСО-50 и ТСО-63 адаптированы с термодатчиком—кремниевым диодом со следующими характеристиками:

при температуре термодатчика  $T_{Т.Д} = 77$  К (погружение в жидкий азот) и токе смещения  $I_{Т.Д} = 100$  мкА на нем возникает напряжение  $U_{Т.Д} = 1,02—1,04$  В;

температурная крутизна характеристики термодатчика линейна в области температур от  $+60$  °С до  $50$  К =  $-223$  °С и  $\Delta U/\Delta T \approx 2$  мВ/°С.

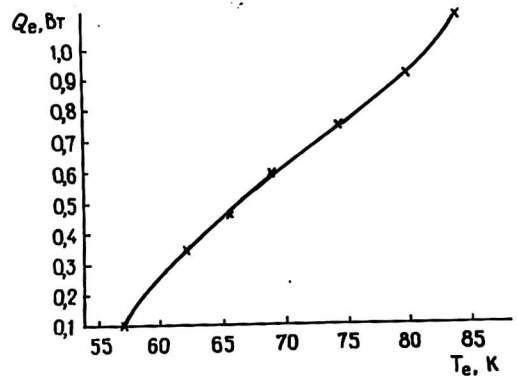
Реальная температура на торце гильзы охладителя ГKM ниже температуры ФЧЭ (термодатчика) на величину термического сопротивления конструктивных элементов между торцом гильзы охладителя и ФЧЭ (термодатчиком). Чем меньше будет этот перепад, тем на более высокой температуре стабилизируется работа ГKM и, следовательно, мощность, потребляемая МКС, будет меньше.

Ниже приведены, характерные для МКС, графики зависимости величины потребляемой мощности  $N_{\text{потр}}$  (Вт) от холодопроизводительности  $Q_e$  (Вт) на температурном уровне 80 К (рис. 4) и зависимость холодопроизводительности  $Q_e$  (Вт) от уровня криостатирования МКС  $T_e$  (К) при полных оборотах привода компрессора (рис. 5).



x — данные замера

Рис. 4. Зависимость потребляемой мощности МКС ( $N_{\text{потр}}$ , Вт) от холодопроизводительности, развиваемой МКС ( $Q_e$ , Вт) при полных оборотах привода компрессора. (Зависимость получена экспериментально для МКС типа ТСО-50)



x — данные замера

Рис. 5. Зависимость развиваемой МКС холодопроизводительности ( $Q_e$ , Вт) от уровня криостатирования ( $T_e$ , К) при полных оборотах привода компрессора. (Зависимость получена экспериментально для МКС типа ТСО-50)

Из графиков видно, что для обеспечения оптимальной работы МКС в ФП должны быть минимизированы, как теплопритоки из окружающей среды и тепловыделения ФЧЭ, так и температурное сопротивление между ФЧЭ (датчиком температуры) и торцом “холодного” пальца охладителя МКС.

Радикальным в этом плане решением является интеграция конструкции ФП с охладителем ГKM, т. е. использование в качестве держателя ФЧЭ гильзы охладителя ГKM.

МКС типа ТСО-50 и ТСО-63 позволяют устанавливать температуру криостатирования на требуемом уровне в диапазоне от 70 до 90 К регулировкой блока управления.

Были изготовлены образцы МКС, на которых проведены испытания по определению их основных параметров.

Замеры параметров МКС проводились на вакуумном стенде специальной разработки с использованием имитатора тепловой нагрузки по методикам, применяемым в криогенной технике.

Получены положительные результаты испытаний, которые подтвердили соответствие реальных значений основных параметров МКС значениям, заложенным при проектировании. Характерный график по определению значений холодопроизводительности и потребляемой мощности от времени работы при испытании одного из образцов МКС на вакуумном стенде представлен на рис. 6.

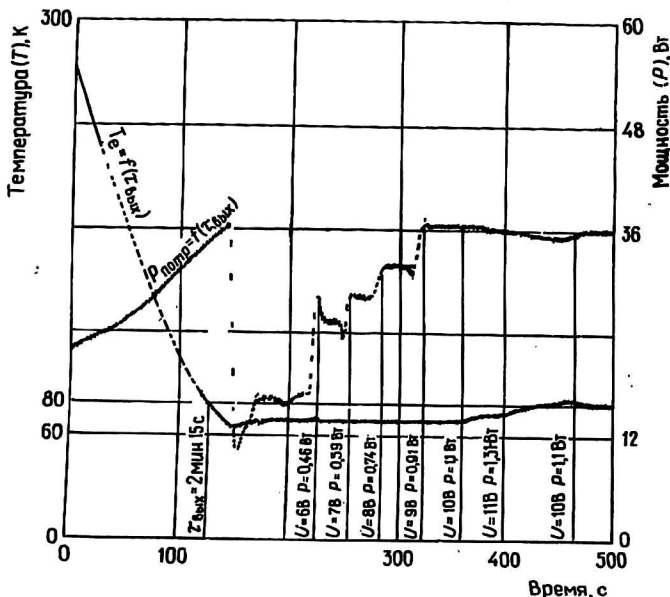


Рис. 6. Зависимости температуры криостатирования ( $T_e$ , ВТ) и потребляемой мощности МКС ( $N_{потр}$ , ВТ) типа ТСО-50 от времени. (Зависимость получена при запуске МКС на вакуумном стенде для определения ее основных параметров)

Кроме этого были проведены испытания МКС в составе с ФПУ с линейчатым и матричным расположением ФЧЭ.

При испытании получены положительные результаты по достижению заданного уровня криостатирования ФЧЭ, стабильного поддержания температуры криостатирования и потребляемой мощности во времени и получены фотоэлектрические параметры ФПУ в соответствии с требованиями ТЗ.

**Л и т е р а т у р а**

1. Г р е з и н А. К., З и н о в ь е в В. С. Микрорьогенная техника. — М.: Машиностроение, 1977. — 232 с.
2. С у с л о в А. К. и др. Криогенные газовые машины. — М.: Машиностроение, 1982. — 213 с.
3. Автономные криорефрижераторы малой мощности/Под ред. В. М. Бродянского. — М.: Энергоиздат, 1984. — 208 с.
4. К р а м о р о в А. Г. Исследование криогенной машины со свободным дифференциальным вытеснителем: Автореф. канд. дис., М., 1980.
5. G e r a l d R. P r u i t t "Reliability growth of coolers for advanced optical systems and instruments". Huges Electron Dynamic division. Presented at SPIE annal meeting, Juli 1990.
6. Reability status report for Huges rotari cryogenic coolers, Huges Electron Dynamic division: Рекламный материал.

**MICROCRYOGENIC SYSTEMS WITH SPLIT-STIRLING GAS CRYOGENIC MACHINE FOR COOLING OF PHOTODETECTIV ASSEMBLIES**

*Y. S. Troshkin, A. L. Chapkevich*

The State Unitary Enterprise «RD&P Centre "Orion"», Moscow, Russia

*E. K. Gorbunov, O. P. Posevin, A. V. Samvelov*

International Centre of Photomicroelectronics and Night-vision "OREX", Moscow, Russia

*Advantages of microcryogenic systems (MCS) with a Split-Stirling gas cryogenic machine (GCM) are described. Overall dimensions of MCS, GCM and an electronic control unit (CU) are given. Peculiarities of MCS joining with different photodetective assemblies and their combined operation, results of testing MCS including photodetective assemblies (PDA) are described.*