

Таким образом, проведенные расчеты показали что, применяя оптимальное акцепторное легирование, можно в значительной степени повысить параметры ФЭМ-детектора, изготовленного на основе $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ состава $x = 0,167$. Оптимальный уровень акцепторного легирования лежит в области концентраций (4—5) n_i . Изготовлен ФЭМ-детектор с составной чувствительной площадкой с максимумом чувствительности в районе 10,6 мкм, позволяющей значительно повысить напряжение выходного сигнала и вольтовую чувствительность.

Л и т е р а т у р а

1. *Piotrowski Y., Galus W. and Grudzien M.* // Infrared Phys. 1991. № 31. P. 1.
2. *Gaziyev F. N., Nasibov I. A., Ibragimov T. I., Huseynov E. K.* HgCdTe based PEM detector for middle range of IR spectrum: 18th Int. Conf. on Photoelectronics and Night Vision Device, 25—28 May 2004, Moscow, Russia, Proc. of SPIE. 2005. V. 5834. P. 123—132.
3. *Lile D.* // Phys. Rev. B. 1973. № 8. P. 4708.
4. *Scott M. W.* // J. Appl. Phys. 1969. V. 40. P. 4077.
5. *Gordon N. T., Barton S., Capper P., Jones C. L. and Medcalfe N.* // Semicond. Sci. Technol. 1993. № 8. P. 221—224.
6. *Hansen G. L., Schmidt Y. L. and Casselman T. N.* // J. Appl. Phys. 1982. № 53. P. 7099.

Статья поступила в редакцию 11 октября 2006 г.

Uncooled CdHgTe photo-electromagnetic detector for receiving a CO₂-laser radiation

A. A. Aliev, T. I. Ibragimov, N. D. Ismayilov, I. A. Nasibov, E. K. Guseyinov
Institute for Physics, Baku, Azerbaijan

Consideration is made to a state and future trends of development for uncooled CdHgTe photo-electromagnetic detectors.

УДК 621.5

Результаты разработки ряда модульных МКС Сплит-Стирлинг для криостатирования ФПУ 1- и 2-го поколений

М. В. Липин, А. В. Громов
ООО «НТК "Криогенная техника"», Омск, Россия

Представлены результаты разработки и испытаний ряда модульных микрокриогенных систем (МКС) Сплит-Стирлинг, предназначенных для комплектации тепловизионных приборов наблюдения и прицеливания всех родов войск. Разработанные МКС позволяют криостатировать фоточувствительные элементы (ФЧЭ) фотоприемных устройств (ФПУ) различного типа на температурном уровне 75—80 К при тепловой нагрузке на МКС 0,3—2,0 Вт. Рассмотрены ближайшие перспективы совершенствования конструкции и улучшения характеристик.

На протяжении почти 50 лет наша компания является разработчиком и изготовителем МКС Стирлинг и Сплит-Стирлинг с высокими показателями надежности. Эти изделия предназначены в основном для криостатирования ФПУ, используемых в военной и космической технике.

В конце XX века для криостатирования ФПУ искусственных спутников Земли серий "Ресурс-О", "Изумруд-М", "Метеор-3" и межпланетного аппарата "Фобос" были разработаны МКС Стирлинг с ресурсом от 2-х до 5-ти тыс. ч, позволившие постоянно наблюдать за определенными участками

земной поверхности, а также расширившие научные представления о развитии Солнечной системы [1, 2].

В рамках Федеральной комплексно-целевой программы развития систем тепловидения и приборов ночного видения нашим предприятием разработаны базовые конструкции трех классов микрокриогенных систем Сплит-Стирлинг с линейным приводом, предназначенных для криостатирования многоэлементных фотоприемников (ФП) перспективных модульных тепловизионных приборов (ТВП) наблюдения и прицеливания нового поколения для всех родов войск. ОКР выпол-

нялась по заданию Минобороны России и имела шифр "Оператор-Ф".

Микрокриогенные системы обеспечивают среднюю наработку на отказ 10 000 ч, что является достаточным для обеспечения заданных показателей надежности большинства известных отечественных ФПУ.

Они состоят из газовой криогенной машины (ГКМ), являющейся источником холода, и блока управления (БУ), управляющего работой линейного электропривода машины.

Внешний вид разработанных ГКМ показан на рис. 1. Они работают по обратному циклу Стирлинга с использованием постоянного количества криогента (гелия) и состоят из компрессора и охладителя, соединенных трубопроводом, что позволяет изменять ориентацию охладителя относительно компрессора, снизить вибро- и электромагнитные воздействия от компрессора на ФПУ. Компрессор имеет два линейных электродвигателя (ЛД), каждый из которых состоит из статора с двумя катушками и якоря с двумя рядами постоянных магнитов. Якоря двигателей соединены с поршнями и осуществляют синхронное оппозитное перемещение в цилиндре, что дает возможность полностью уравновесить компрессор.



Рис. 1. Криогенные машины базовых МКС 1-, 2- и 3-го классов

Особенностью конструкции является то, что движение якорей постоянно корректируется блоком управления по сигналам датчиков положения, установленных в компрессоре.

Блок управления выполняет следующие функции:

- управляет амплитудой перемещения поршней в зависимости от температур криостатирования и окружающей среды;
- центрирует якоря (поршни) компрессора относительно середины статора для обеспечения максимальных перемещений поршней при выходе на режим;
- поддерживает заданный уровень суммарного перемещения поршней независимо от среднего давления газа в компрессоре;
- выравняет амплитуду перемещения поршней в целях минимизации уровня вибраций в процессе работы;
- компенсирует возмущения (удары, вибрации, линейные ускорения), действующие на корпус работающей ГКМ, для обеспечения безударной работы поршней;
- обеспечивает противофазное (оппозитное) движение поршней;
- обеспечивает защиту линейных двигателей от превышения тока.

Поддержание температуры криостатирования осуществляется по сигналу датчика температуры, установленного в ФП.

Важнейшие характеристики разработанных МКС (в наиболее жестких условиях эксплуатации) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики МКС

Характеристики	Модули МКС		
	1-й класс	2-й класс	3-й класс
Диаметр/длина колодца ФП, мм	9/72,5	6/71	6/71
Максимальная тепловая нагрузка от ФП при температуре (80±2) К, Вт	1,3	0,6	0,4
Приведенная к температуре криостатирования суммарная охлаждаемая масса ФП, г, не более	10	5	4
Время выхода на рабочий режим, мин, не более	7	5	6
Потребляемая мощность, Вт, не более:			
	в пусковом режиме	150	85
в рабочем режиме	100	45	30
Питание от сети постоянного тока, В	27 ⁺² ₋₅	27 ⁺² ₋₅	12 ₋₂
Температура окружающей среды, °С	от -50 до +50		

Средняя наработка на отказ, ч	10 000	10 000	10 000
Масса, кг, не более	5	3	2,3

Характеристики разработанных МКС 1-, 2- и 3-го классов полностью соответствуют требованиям недавно появившегося государственного стандарта на унифицированные узлы (модули) первого поколения и в сопоставимых условиях находятся на уровне современных зарубежных аналогов.

Микрокриогенные системы обеспечивают работоспособность в диапазоне температур от -50 до $+50$ °С, подтвердили заданные характеристики надежности, имеют прогрессивные схемные решения, изготавливаются только из отечественных материалов и комплектующих.

Микрокриогенные системы позволяют криостатировать ФЧЭ ФПУ различного типа на температурном уровне (80 ± 2) К при тепловой нагрузке на МКС от 0,3 до 2,0 Вт. МКС 1-го класса предназначены для работы с тепловыми нагрузками 0,8—2,0 Вт, 2-го класса — 0,4—0,8 Вт, 3-го класса — 0,3—0,5 Вт. Энергопотребление в рабочем режиме при температуре окружающей среды 50 °С составляет от 100 до 30 Вт, соответственно.

Соответствие МКС заданным требованиям подтверждено результатами предварительных и государственных испытаний.

В сентябре 2005 г. ОКР "Оператор-Ф" принята Государственной комиссией. Разработанные в ОКР "Оператор-Ф" базовые конструкции позволили в короткий срок создать несколько модификаций МКС, учитывающих особенности применения в конкретных образцах военной техники, и присвоить РКД на них литеры "О" и "О₁".

Внешний вид модификации МКС 1-го класса МСМГ-5А-1,7/80 КВО.0729.000-02, примененной в тепловизионной аппаратуре вертолетов МИ-24ПН, приведен на рис. 2.

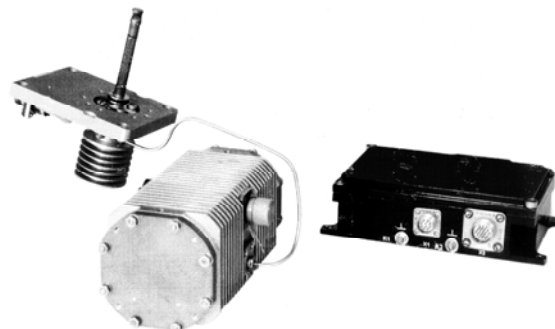


Рис. 2. Микрокриогенные системы МСМГ-5А-1,7/80 КВО.0729.000-02

Внешний вид модификации МКС 2-го класса МСМГ-3А-0,6/80 КВО.0730.000-01, примененной в тепловизионной аппаратуре морской техники, приведен на рис. 3.

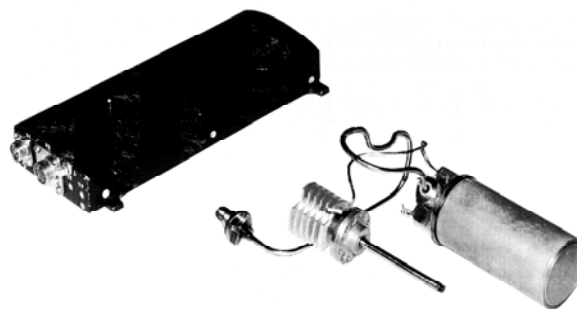


Рис. 3. Микрокриогенные системы МСМГ-3А-0,6/80 КВО.0730.000-01

В табл. 2 и 3 даны результаты, полученные в процессе приемосдаточных испытаний изготовленных партий опытных образцов МКС МСМГ-5А-1,7/80 КВО.0729.000-02 (1-го класса) и МСМГ-3А-0,6/80 КВО.0730.000-01 (2-го класса).

Таблица 2

Результаты испытаний МКС МСМГ-5А-1,7/80 КВО.0729.000-02

Параметры	Время достижения температуры, мин		Потребляемая мощность МКС, Вт	
	100 К	80 К	пусковой режим	рабочий режим
Требования по ТЗ	Не более 7	—	Не более 150	Не более 100
Т-ра окр. среды	+ 50 °С			
Заводской № 044354	5'30"	7'07"	145,8	74,3
№ 044330	5'49"	7'33"	132,3	74,3
№ 044355	5'33"	7'11"	129,6	70,2
№ 044356	5'03"	6'25"	148,5	63,4
№ 054054	4'25"	5'43"	148,2	69,7
№ 044357	5'08"	6'40"	149,9	67,5
№ 044358	5'27"	7'17"	147,2	78,3
Среднее значение	5'16"	6'51"	143,1	71,1

Т-ра окр. среды	Н.К.У.			
Заводской № 044354	5'32"	7'20"	118,8	68,9
№ 044330	5'13"	6'40"	113,4	52,9
№ 044355	5'34"	7'07"	118,8	64,2

Окончание табл. 2

Параметры	Время достижения температуры, мин		Потребляемая мощность МКС, Вт	
	100 К	80 К	пусковой режим	рабочий режим
Т-ра окр. среды	Н.К.У.			
Заводской № 044356	4'57"	6'43"	126,9	54,0
№ 054054	3'31"	4'33"	133,5	58,1
№ 044357	4'26"	5'38"	135,0	56,7
№ 044358	4'45"	6'03"	126,9	62,1
Среднее значение	4'51"	6'18"	124,8	59,6
Т-ра окр. среды	-50 °С			
Заводской № 044354	3'35"	4'40"	94,5	27,0
№ 044330	3'40"	5'02"	65,5	26,1
№ 044355	4'01"	5'25"	64,3	31,3
№ 044356	2'57"	3'39"	105,3	38,9
№ 054054	2'09"	2'49"	88,3	22,4
№ 044357	2'38"	3'33"	93,2	25,4
№ 044358	3'00"	4'10"	83,7	29,4
Среднее значение	3'09"	4'11"	85,0	28,6

Таблица 3

Результаты испытаний МКС МСМГ-3А-0,6/80 КВО.0730.000-01

Параметры	Время достижения температуры, мин		Потребляемая мощность МКС, Вт	
	100 К	80 К	пусковой режим	рабочий режим
Требования по ТЗ	Не более 5	—	Не более 85	Не более 45
Т-ра окр. среды	+ 50 °С			
Заводской № 044309	3'20"	4'00"	78,46	24,81
№ 044310	3'27"	4'12"	69,91	24,11
№ 044365	3'33"	4'09"	83,4	26,79
№ 044516	3'18"	3'54"	70,09	21,57
№ 044544	3'32"	4'08"	81	29,16
№ 044574	4'27"	5'26"	49,16	25,64
№ 054039	4'25"	5'24"	51,58	26,3
Среднее значение	3'43"	4'28"	69,09	25,48
Т-ра окр. среды	Н.К.У.			
Заводской № 044309	3'03"	3'36"	72,2	20,82
№ 044310	3'02"	3'39"	63,02	18,72
№ 044365	3'06"	3'39"	75,54	21,73
№ 044516	3'01"	3'33"	55,06	18,08
№ 044544	3'03"	3'32"	76,95	24,03
№ 044574	3'38"	4'20"	42,8	15,51
№ 054039	3'48"	4'26"	48,06	20,7
Среднее значение	3'14"	3'51"	61,95	19,94
Т-ра окр. среды	- 50 °С			
Заводской № 044309	2'40"	3'18"	42,22	14,28
№ 044310	3'15"	4'12"	34,15	13,31
№ 044365	2'33"	3'03"	41,59	12,06
№ 044516	2'35"	3'03"	36,19	8,11

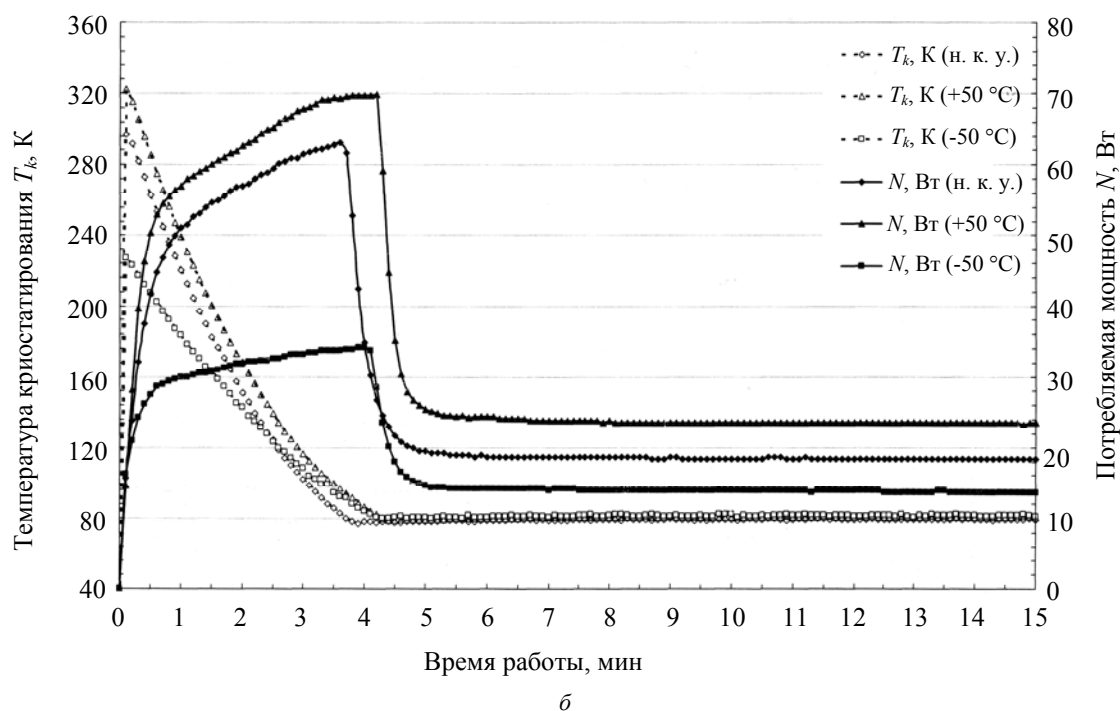
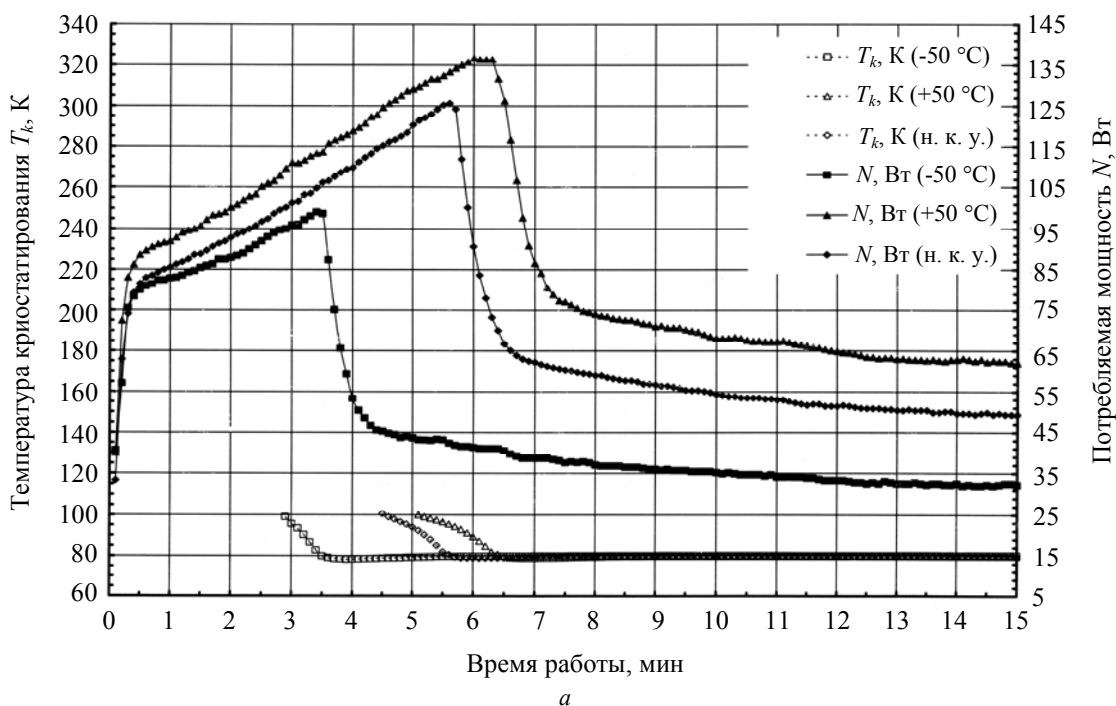
№ 044574	3'13"	3'56"	25,09	8,36
№ 054039	3'10"	3'52"	30,55	9,2
Среднее значение	2'52"	3'33"	35,49	10,96

Типовые диаграммы, показывающие изменение потребляемой мощности и температуры криостатирования в начальный период работы МКС 1-го и 2-го классов, приведены на рис. 4, а, б.

В рамках отдельной ОКР "Модуль-Авиа-МОФ" ООО «НТК "Криогенная техника"» разработана МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000 для теплови-

зионных каналов (ТПВК) второго поколения, имеющая улучшенные характеристики энергопотребления по сравнению с базовой МКС 2-го класса и предназначенная для работы в более широком диапазоне рабочих температур (от -60 до $+65$ °С).

Внешний вид МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000 приведен на рис. 5.



б

Рис. 4. Изменение потребляемой мощности и температуры криостатирования от времени работы:

а — МКС МСМГ-5А-1,7/80 КВО.0729.000-02, заводской № 044356;
 б — МКС МСМГ-3А-0,6/80 КВО.0730.000-01, заводской № 044310

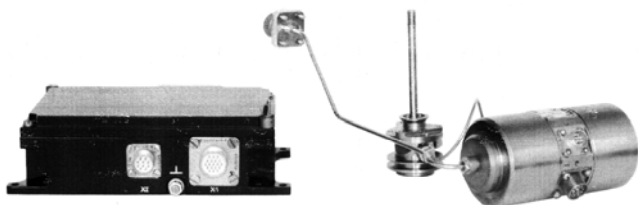


Рис. 5. Микрорегенная система МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000

Конструкция МКС аналогична базовым, но для обеспечения работоспособности в расширенном диапазоне рабочих температур ее пришлось несколько усложнить: в конструкцию компрессора

ГКМ введен экран между статором и якорем ЛД, снижающий загрязнения рабочего газа.

Технические характеристики разработанной МКС приведены в табл. 4 (колонка 2).

В настоящее время завершены предварительные испытания МКС, в том числе подтверждены показатели ее безотказности и долговечности. На рис. 6 показано изменение основных характеристик МКС: времени выхода на рабочий режим (τ_{out}), потребляемой мощности в пусковом (N_b) и рабочем (N_w) режимах при испытаниях по подтверждению назначенного ресурса 6000 ч. Видно, что изменение характеристик МКС за это время невелико, все характеристики по завершению испытаний находятся в пределах требований ТЗ.

Таблица 4

Технические характеристики МКС для ФПУ второго поколения

Характеристики	Модули МКС		
	МСМГ-5А-1,3/80	МСМГ-3В-1/80	МСМГ-1А-0,3/80
Диаметр/длина колодца ФП, мм	9/72,5	6/71	—
Максимальная тепловая нагрузка от ФП при температуре (80 ₋₅) К, Вт	1,3	0,35	0,3
Приведенная к температуре криостатирования суммарная охлаждаемая масса ФП, г, не более	10	6	3,5
Время выхода на рабочий режим, мин, не более	7	8	5
Потребляемая мощность, Вт, не более:			
	в пусковом режиме	120	60
в рабочем режиме	70	35	12
Питание от сети постоянного тока, В	27 ⁺² ₋₅	27 ^{+2,4} ₋₃	12 ₋₂
Температура окружающей среды, °С	От -50 до +55	От -60 до +65	От -40 до +50
Средняя наработка на отказ, ч	10 000	10 000	10 000
Масса, кг, не более	5	3	1,5

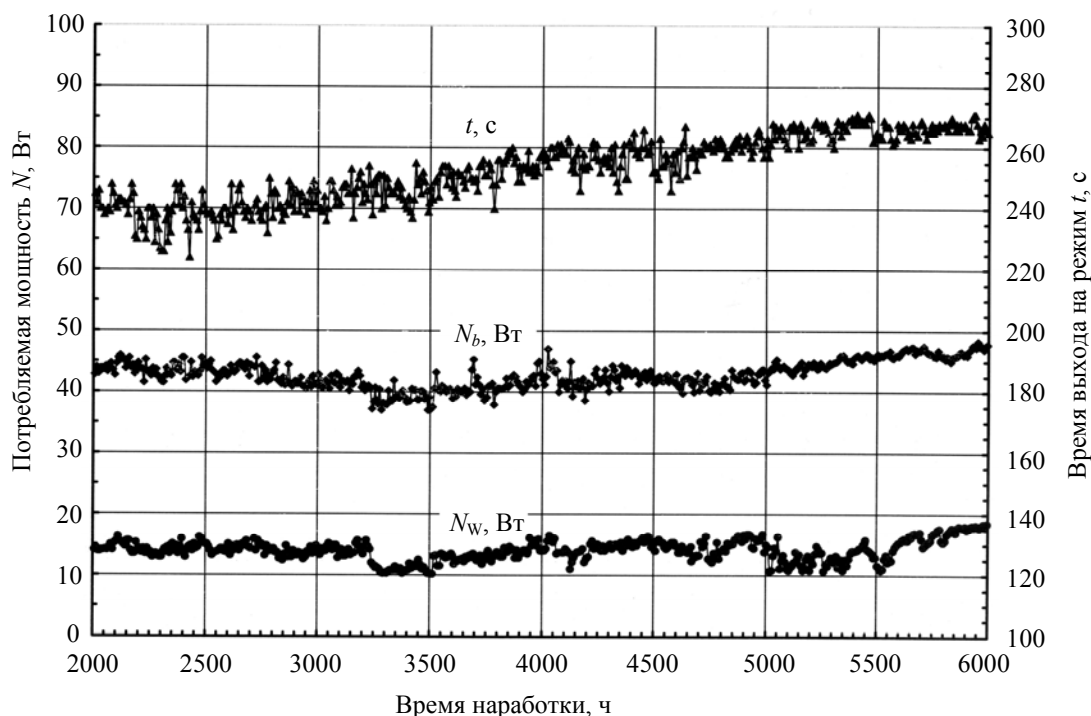


Рис. 6. Изменение времени выхода на режим и потребляемой мощности МКС МСМГ-3В-1,0/80 КВО.0733.000, заводской № 211360 при испытании на долговечность

В табл. 5 приведены результаты, полученные при проведении приемосдаточных испытаний изготовленной партии опытных образцов МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000.

Типовая диаграмма изменения потребляемой мощности и температуры криостатирования в начальный период работы МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000 приведена на рис. 7.

РКД на МКС присвоена литера "О", в настоящее время завершаются государственные испытания МКС в составе аппаратуры применения.

В течение 2001—2005 гг. ООО «НТК "Криогенная техника"» изготовлено и поставлено для использования в НИОКР, выполняемых по заказам Минобороны России, порядка 130 образцов модульных МКС с линейным приводом, разработанных в рамках ОКР "Оператор-Ф" и ОКР "Модуль-Авиа-МОФ" и их модификаций. Изготовление МКС производством освоено, ООО «НТК "Криогенная техника"» готово их поставлять в любых необходимых количествах.

В настоящее время нашему предприятию Управлением по развитию базовых военных технологий и специальных проектов Минобороны России поручена еще одна работа — выполнять функции соисполнителя ОКР "Запорожье-16М", в рамках которой разрабатывается МКС Сплит-Стирлинга, имеющая минимальные энергопотребление, массу и габаритные размеры, соответствующие условиям применения в носимых телевизионных приборах.

Технические требования, предъявляемые к разрабатываемой МКС МСМГ-1А-0,3/80 КВО.0736.000, приведены в табл. 4 (колонка 3). Требование по обеспечению средней наработки на отказ 10 000 ч определяет необходимость применения в компрессоре МКС линейных двигателей.

Таблица 5

Результаты испытаний МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000

Параметры	Время достижения температуры, мин		Потребляемая мощность МКС, Вт	
	100 К	80 К	пусковой режим	рабочий режим
Требования по ТЗ	—	Не более 8	Не более 60	Не более 35
Т-ра окр. среды	+ 65 °С			
Заводской № 313490	4'08"	5'15"	58,6	17,8
№ 211370	4'19"	5'10"	59,4	16,0
№ 212350	4'33"	5'33"	55,1	15,1
№ 211360	4'01"	5'01"	59,4	15,4
№ 044038	4'59"	5'59"	52,8	16,1
№ 041322	3'58"	4'43"	58,8	14,0

№ 041315	4'22"	5'28"	59,4	16,2
№ 041318	4'33"	5'49"	56,7	18,4
Среднее значение	4'23"	5'19"	59,3	16,5
Т-ра окр. среды	Н.К.У.			
Заводской № 313490	4'16"	3'40"	40,1	10,0
№ 211370	4'08"	5'00"	39,4	11,3
№ 212350	3'40"	4'27"	41,3	9,7
№ 211360	3'17"	3'56"	43,2	9,7
№ 044038	4'19"	5'08"	49,1	11,1
№ 041322	3'45"	4'22"	35,6	9,7
№ 041315	3'49"	4'42"	44,8	10,3
№ 041318	4'01"	5'12"	41,6	12,2
Среднее значение	3'41"	4'26"	42,9	10,8
Т-ра окр. среды	- 60 °С			
Заводской № 313490	3'00"	4'05"	32,4	6,8
№ 211370	2'42"	3'25"	36,8	6,2
№ 212350	4'09"	5'08"	27,5	6,7
№ 211360	2'41"	3'22"	34,8	6,5
№ 044038	3'36"	4'34"	24,4	5,9
№ 041322	4'14"	5'07"	20,2	8,6
№ 041315	2'35"	3'22"	44,0	7,3
№ 041318	2'50"	3'38"	33,0	6,2
Среднее значение	3'38"	4'31"	28,8	7,2

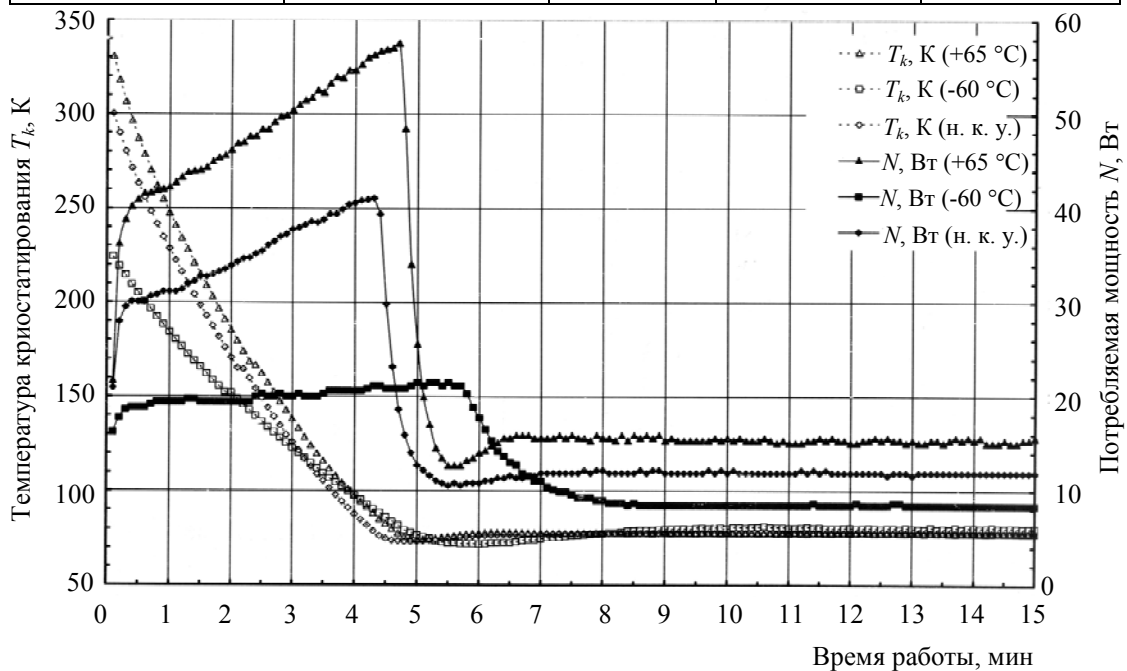


Рис. 7. Изменение потребляемой мощности и температуры кристаллирования от времени работы для МКС MSMF-3B-1/80 KBO.0733.000, заводской № 041322

Разрабатываемая МКС состоит из ГКМ и БУ. Общий вид ГКМ показан на рис. 8 в сравнении с ГКМ "Модуль-Авиа".

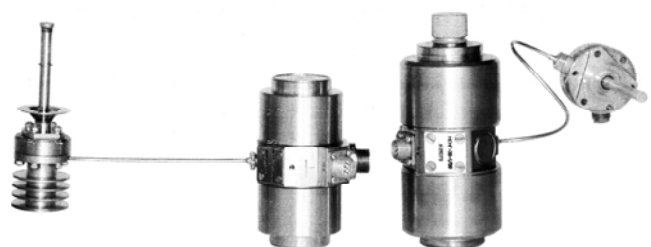


Рис. 8. ГKM MKC MCMГ-1A-0,3/80 KBO.0736.000 в сравнении с ГKM "Модуль-Авиа"

Охладитель ГKM имеет общую с фотоприемником тонкостенную гильзу-держатель с фланцем для приварки наружного корпуса ФП. Непосредственно на головку гильзы устанавливаются чувствительные элементы ФП (матрица на основе силицида платины). Благодаря такому техническому решению тепловая нагрузка на ГKM снижается по сравнению с нагрузкой двухстенной конструкции на величину 120—150 мВт. Внутренние размеры гильзы-держателя в процессе проектирования были ограничены из-за необходимости сохранить возможность работы ФП с дроссельными теплообменниками.

Компоновка компрессора повторяет уже опробованную в MKC MCMГ-3B-1/80 KBO.0733.000. Объем разработанного компрессора почти на 40 % меньше объема MKC "Модуль-Авиа". Для обеспечения времени выхода MKC на рабочий режим не более 5 мин потребовалась холодопроизводительность в пусковом режиме величиной около 900 мВт, что не могло не сказаться на размерах двигателей ГKM. Масса последней составляет 1,15 кг.

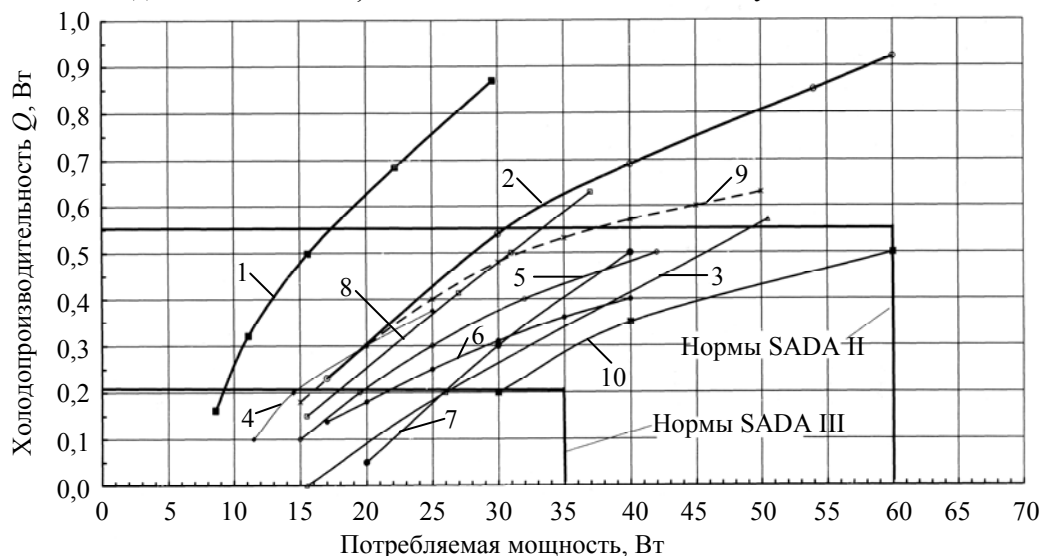


Рис. 9. Характеристики зарубежных и отечественных MKC Сплит-Стирлинг при повышенной температуре окружающей среды:

- | | | |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 — MCMГ-1A-0,3/80; | 5 — BEI B600A-L12 [5]; | 8 — BEI B600B-L7 [5]; |
| 2 — MCMГ-3B-1/80; | 6 — Magnavox MX7050 [4]; | 9 — Magnavox MX7055 [4]; |
| 3 — BEI B602C [5]; | 7 — LSF 9187 Signaal-USFA (AC) [3]; | 10 — LSF 9180 Signaal-USFA (AC) [3] |
| 4 — BEI B512C [6]; | | |

Обзор ближайших перспектив в разработке MKC с высокой надежностью будет неполным, если не упомянуть, что ООО «НТК "Криогенная техника"» продолжает разработку MKC с ресурсом 25 000 ч для космического применения. В на-

Одно из основных требований к разрабатываемой MKC — уменьшение объема блока управления в два раза по сравнению с существующей базовой MKC 3-го класса. В процессе проектирования объем БУ удалось уменьшить с 720 см³ (120×100×60 мм) до 300 см³ (120×100×25 мм) за счет применения в блоке управления современной элементной базы иностранного производства, в том числе цифровых процессоров.

На рис. 9 показана типовая зависимость холодопроизводительности от потребляемой мощности при повышенной рабочей температуре среды для MKC MCMГ-1A-0,3/80 по сравнению с экспериментально полученными данными для MKC MCMГ-3B-1/80 KBO.0733.000 ("Модуль-Авиа") и данными для зарубежных охладителей этого класса [3—6].

В инициативном порядке ООО «НТК "Криогенная техника"» ведет работы по совершенствованию конструкции MKC 1-го класса. Разработан и изготавливается в настоящее время новый компрессор ГKM, эффективность ЛД в котором ожидается на 20—25 % выше, чем в существующем. По результатам типовых испытаний характеристики MKC 1-го класса предполагается улучшить до значений, указанных в табл. 4.

В настоящее время изготовлены четыре экспериментальных образца MKC MCMГ-17Г-10/80 KBO.0734.000, проводятся их автономные испытания. Для обеспечения ресурса 25 000 ч в конструкцию ГKM введены шариковые опоры поршней

и сверхтвердые алмазоподобные покрытия направляющих поршней.

Внешний вид МКС приведен на рис. 10.

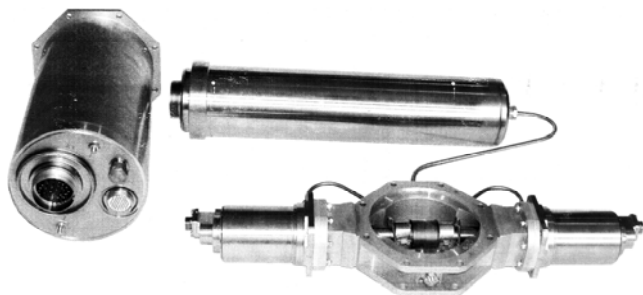


Рис. 10. Микрокриогенная система МСМГ-17Г-10/80 КВО.0734.000

Технические характеристики МКС

Холодопроизводительность на уровне 80 К,	
Вт, не менее	10
Потребляемая мощность, Вт, не более.....	400
Назначенный ресурс, ч	25 000
Определяющие размеры составных частей	
МКС, мм:	
компрессор.....	Ø88×420
охладители	Ø60×415
блок управления	Ø140×250
Масса МКС, кг	17

В настоящее время основные усилия ООО «НТК "Криогенная техника"» в части МКС Сплит-Стирлинг сосредоточены на улучшении совмести-

мости разработанных МКС с ФПУ 1- и 2-го поколений. Предприятие продолжает работы по повышению надежности разработанных конструкций, в результате которых возможно улучшение их показателей безотказности до значения средней наработки на отказ 13 000 ч.

Литература

1. *Липин М. В., Филиппов В. П., Левшакова Н. Н.* Создание МКС Стирлинга холодопроизводительностью 3,2 Вт на 80 К с ресурсом 5000 ч// Криогенное и холодильное оборудование и технологии: Сб. науч. тр. МАХ. — Омск: АО "Сибкриотехника". 1997. № 1. С. 69—73.
2. *Грезин А. К.* ОАО "Сибкриотехника" — 40 лет в криогенике. Реальность и перспективы криогенных технологий// Там же. — Омск: ОАО "Сибкриотехника", 1999. Юбилейный выпуск. С. 3—14.
3. *Meijers M., Benschop A. A. J. and Mullie J. C.* High reliability coolers under development at Signaal-USFA// SPIE. 2000. V. 4130. P. 385—393.
4. *Keung C. S. and Narayan R.* Compact, dual-piston Stirling cryocoolers for IR imaging systems// Ibid. 1994. V. 2224. P. 180—188.
5. *Yuan S. W. K., Kuo D. T., Loc A. S. and Lody T. D.* Performance and Qualification of BEI'S 600 mW Linear Motor Cooler// Advances in Cryogenic Engineering Conference 45, NY, 1999. P. 251—257.
6. *Kuo D. T., Loc A. S., Lody T. D. and Yuan S. W. K.* Cryocooler Life Estimation and its Correlation with Experimental Data// Ibid. P. 267—273.

Статья поступила в редакцию 11 октября 2006 г.

The development results of modular micro cryogenic systems based on the Split-Stirling for cryostatting of the first and second generation photodetective assembly

M. V. Lipin, A. V. Gromov
STC "Cryogenic Technique Ltd.", Omsk, Russia

Engineering and testing results of series modular Split-Stirling microcryogenic systems (MCSs), intending for picking thermal viewing imagers and aiming of all combat arms are presented in this paper. Designed MCSs allow cryostatting of solar cells of different type photoreceivers at temperature level (75—80) K at thermal load on MCS from 0.3 to 2.0 W. Neartern trends of desing modernization and performance improvement are also offered.