

УДК 621.5

## Результаты испытаний микрокриогенной системы МСМГ-3В-1/80 – унифицированного модуля межвидового применения для тепловизионного канала 2-го поколения

М. В. Липин, А. В. Смирнов, Е. В. Забенкова  
ООО «НТК “Криогенная техника”», г. Омск, Россия

*Представлены результаты испытаний микрокриогенной системы (МКС) МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000, которые позволили присвоить конструкторской документации литеру "О" и допустить ее к проведению государственных испытаний в составе тепловизора ТПВК-24Н. Приведены параметры МКС, полученные при проведении приемосдаточных испытаний партии опытных образцов. Показано незначительное изменение параметров МКС в процессе испытаний (включая испытания на безотказность и долговечность).*

Опытно-конструкторская работа "Разработка и изготовление унифицированной микрокриогенной системы (модуля охлаждения фотоприемника — МОФ) для охлаждения субматричных фотоприемных устройств тепловизионного канала 2-го поколения для вертолетных обзорно-прицельных круглосуточных станций" выполняется ООО «НТК "Криогенная техника"» (г. Омск) по договору с ФГУП «НПО "ГИПО"» (г. Казань) в интересах Минобороны России. Разработчиком охлаждаемого модульного фотоприемного устройства (МФПУ) является ФГУП «НПО "Орион"» (Москва).

Конструкция МКС "Модуль-Авиа" МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000 разработана в 2000 г., когда разработка первых отечественных базовых МКС МСМГ-3А-0,6/80 КВО.0730.000 (2-го класса) с линейным приводом по ОКР "Оператор-Ф" была уже практически закончена. Обе МКС предназначены для охлаждения МФПУ с колодцем фотоприемника (ФП) диаметром 6 и глубиной 71 мм.

На рис. 1 представлен внешний вид МКС. Основные характеристики МКС представлены в табл. 1.

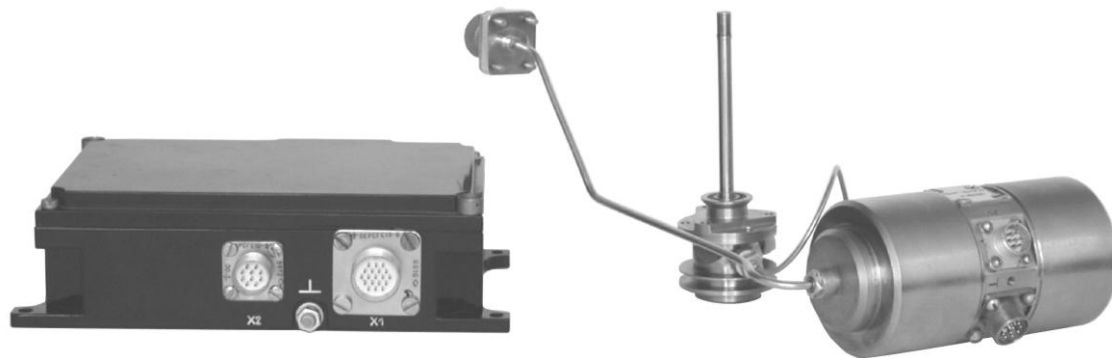


Рис. 1. Внешний вид МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000

Таблица 1

Основные характеристики МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000 и МСМГ-3А-0,6/80 КВО.0730.000 (2-го класса)

Параметры	Значения параметров	
	КВО.0733.000	КВО.0730.000
Температура криостатирования $T_k$ , К	80,5	80±2
Максимальная тепловая нагрузка от ФП при заданной температуре криостатирования, Вт	0,3 <sup>+0,05</sup>	0,6
Приведенная к температуре криостатирования суммарная охлаждаемая масса ФП, г, не более	6	5
Время выхода на режим, мин, не более	8	5
Потребляемая мощность $N$ , Вт, не более:		
в пусковом режиме, $N_{st}$	60	85
в стационарном режиме, $N_{reg}$	35	45

Окончание табл. 1

Параметры	Значения параметров	
	КВО.0733.000	КВО.0730.000
Питание от сети постоянного тока напряжением, В	24,0—29,4	22—29
Средняя наработка на отказ, ч	4000	10 000
Средний срок сохраняемости, лет	10,5	15,5
Рабочая температура окружающей среды, °С	От -60 до +65	От -50 до +50
Масса, кг, не более	3	3
Условия эксплуатации МКС: по ГОСТ В 20.39.304—81 по ГОСТ РВ 20.39.304—98	Группа 3.2.3	Группа 1.10

В состав МКС входят газовая криогенная машина (ГКМ), которая в свою очередь состоит из охладителя и компрессора, соединенных между собой трубопроводом, и блок управления (БУ), служащий для управления приводом компрессора и регулирования температуры криостатирования.

Газовая криогенная машина работает по замкнутому обратному газодинамическому циклу Стирлинга с внутренней регенерацией тепла и использованием постоянного количества рабочего газа (криоагента) — гелия газообразного высокой чистоты. Охлаждение МКС комбинированное: естественной конвекцией и теплопроводностью с отводом теплоты в количестве 35 Вт на корпусные детали аппаратуры, имеющие температуру не выше +70 °С. При повышенной рабочей температуре (выше +55 °С) осуществляется внешний обдув зоны радиатора МОФ. Трубопровод позволяет изменять ориентацию охладителя относительно компрессора, облегчает компоновку ГКМ в аппаратуре и снижает вибрации холодной головки охладителя за счет ее удаления от компрессора.

Блок управления питается от сети постоянного тока напряжением 27 В и служит для поддержания заданной температуры криостатирования. При отклонении температуры криостатирования, измеряемой датчиком температуры в МФПУ, происходит изменение хода (амплитуды перемещения) компрессорных поршней, приводящее к изменению холодопроизводительности ГКМ, что позволяет стабилизировать температуру криостатирования в заданном интервале при всех условиях эксплуатации.

Базовая МКС МСМГ-3А-0,6/80 КВО.0730.000 (2-го класса) предназначена для работы при температуре окружающей среды от -50 до +50 °С. Необходимость изменений и усложнения базовой конструкции была вызвана значительно более широким диапазоном рабочих температур для МКС "Модуль—Авиа" (от -60 до +65 °С) и повышенными требованиями к ее холодопроизводительности и эффективности (потребляемой мощности).

Для реализации этих задач была изменена конструкция как охладителя (исключено устройство демпфирующее теплопередающее в холодной зоне, а компенсатор тепловых деформаций перенесен в теплую зону), так и компрессора (разработан оригинальный линейный двигатель с более высоким КПД).

Из рис. 2 видно, что достигнутые характеристики МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000 значительно лучше, чем у МСМГ-3А-0,6/80 КВО.0730.000 2-го класса и с большим запасом удовлетворяют требованиям американского стандарта SADA II [1—4].

Особую трудность вызывало требование по обеспечению холодопроизводительности 1 Вт при температуре окружающей среды +65 °С, при ограничении потребляемой мощности не более 60 Вт в период выхода на рабочий режим.

На рис. 3 приведена типовая зависимость холодопроизводительности от потребляемой мощности для МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000 при различных температурах окружающей среды. Например, при температуре +65 °С технологический запас 10 % обеспечивается только с предусмотренным частным техническим заданием (ЧТЗ) на МКС внешним обдувом зоны радиатора МОФ.

При автономных испытаниях МКС время выхода на рабочий режим и ее другие технические характеристики измеряются с помощью технологического приспособления КВО.4554.010 с вакуумным криостатом, разработанным ООО «НТК "Криогенная техника"».

Холодопроизводительность МКС определяется по формуле

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

где  $Q$  — холодопроизводительность МКС, Вт;

$Q_1$  — мощность на нагревателе, эквивалентная избыточной холодопроизводительности МКС, Вт;

$Q_2$  — теплоприток по приспособлению КВО.4554.010, измеренный по РТМ 3-1033-77.

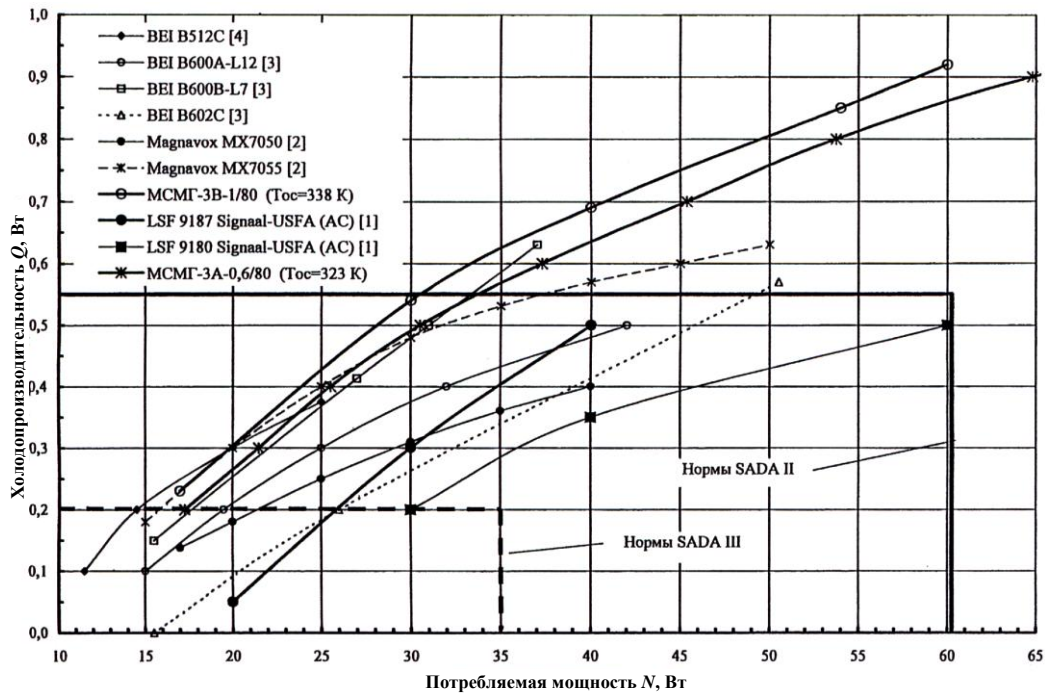


Рис. 2. Характеристики зарубежных и отечественных МКС Силит-Стирлинга при повышенной температуре окружающей среды  $T$

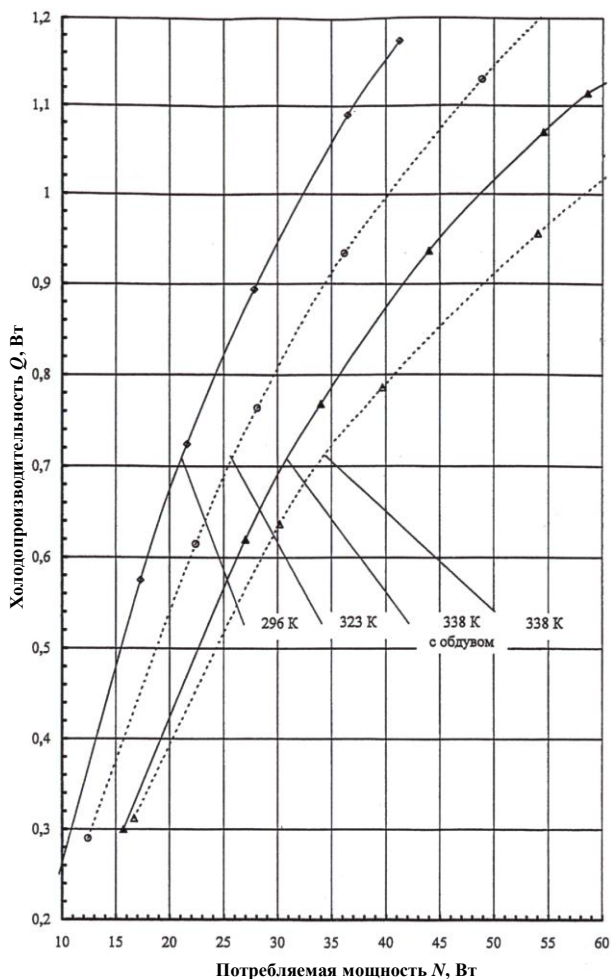


Рис. 3. Зависимость холодопроизводительности  $Q$  от потребляемой мощности  $N$  для МКС КВО.0733.000 зав. № 041322 при различных температурах окружающей среды

Для предварительной оценки соответствия МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000 требованиям технического задания, конструкторской документации и определения возможности предъявления МКС на государственные испытания проведены предварительные испытания на базе ООО «НТК "Криогенная техника"», г. Омск, в период с 07.02.2003 по 07.12.2004 г. на четырех образцах МКС зав. № 211360, 212350, 211370, 313490 по согласованной ФГУП «НПО "ГИПО"», ФГУП «НПО "Орион"» и в 1969 г. ВП МО программе и методикам предварительных испытаний КВО.0733.000 ПМ (ПМ), включая испытания на безотказность и долговечность.

Для подтверждения средней наработки на отказ 4000 ч при испытаниях на безотказность общая наработка четырех МКС по двум циклам составила 2772 ч, наработка каждой МКС составила 693 ч, в том числе:

- при механических воздействиях — 9,5 ч;
- при воздействии повышенной влажности — 168 ч;
- при циклическом воздействии температур — 172 ч;
- при нормальных климатических условиях — 343,5 ч.

В каждом цикле осуществлялась наработка при напряжении ( $24^{+0,5}$ ) В и ( $29_{-1}$ ) В по 25 % от общей наработки и 50 % наработки — при номинальном напряжении ( $27 \pm 0,5$ ) В.

Отказов МКС при суммарной наработке четырех МКС — 2772 ч не было зафиксировано.

При испытаниях на долговечность проведена наработка 6000 ч одной МКС в нормальных климатических условиях.

На рис. 4 приведены зависимости потребляемой мощности и температуры криостатирования от времени работы после включения, полученные для МКС зав. № 211360, 212350, 211370, 313490 после завершения испытаний на безотказность.

На рис. 5 показано изменение времени выхода на режим и потребляемой мощности МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000 зав. № 211360 при испытании на долговечность. Из рис. 5 видно незначительное изменение параметров МКС в процессе наработки 6000 ч.

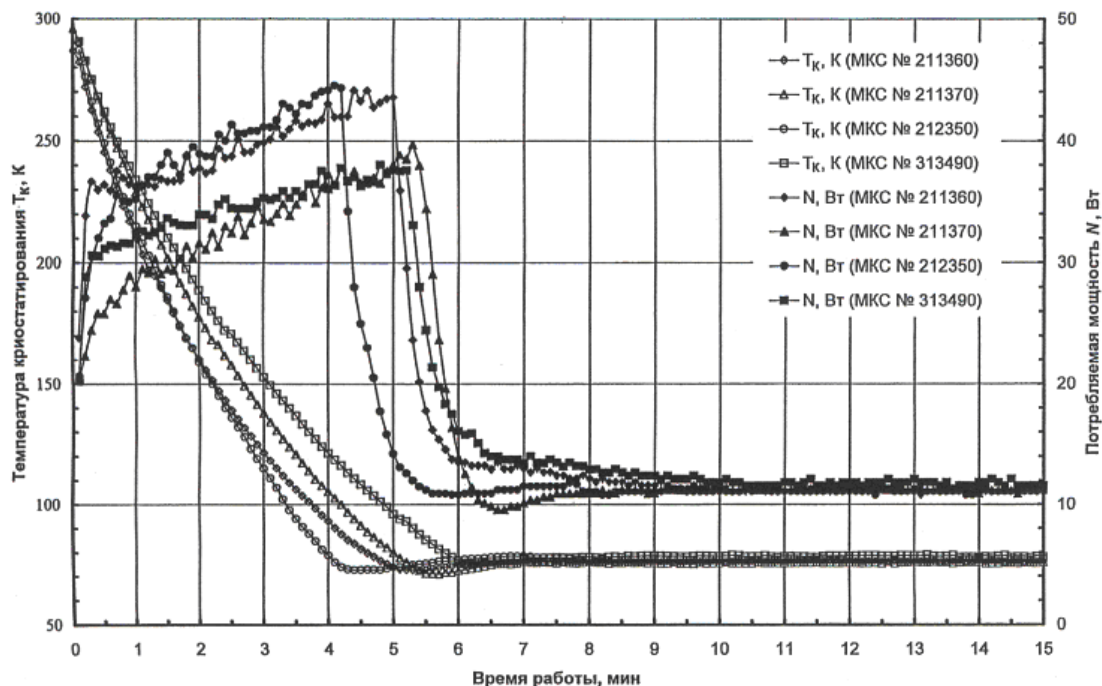


Рис. 4. Изменение потребляемой мощности  $N$  и температуры криостатирования  $T_k$  от времени работы в нормальных климатических условиях для МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000 после испытаний на безотказность

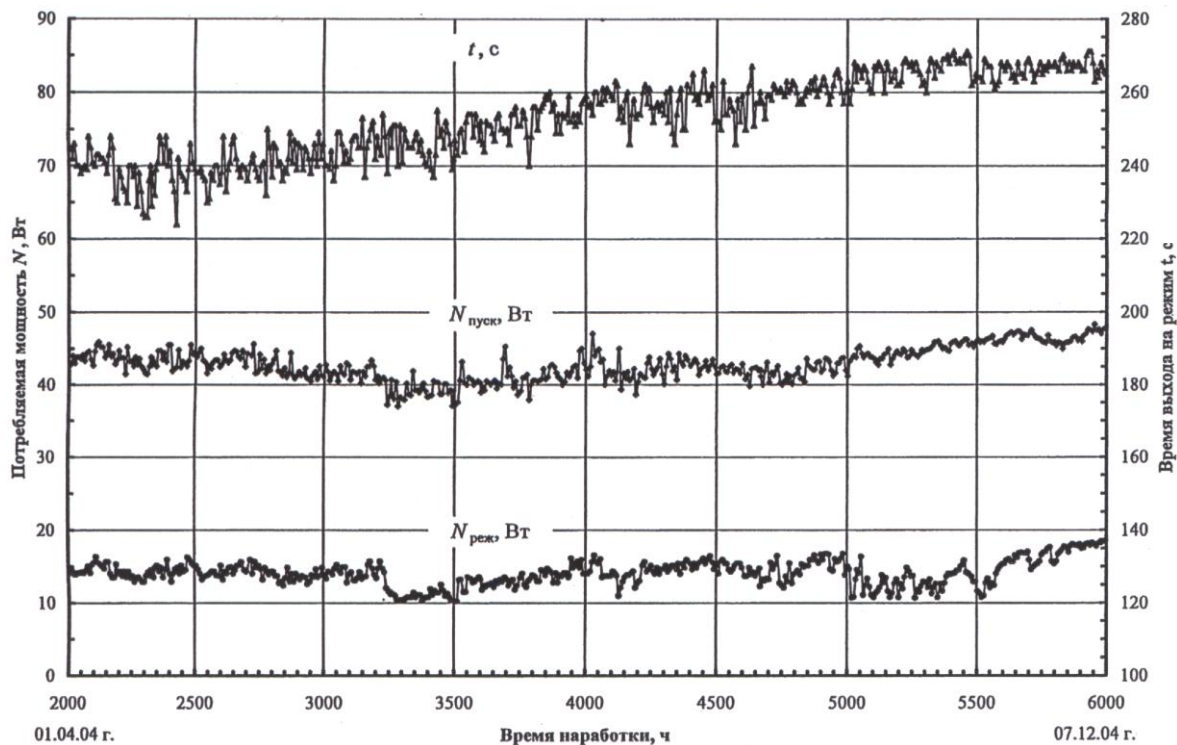


Рис. 5. Изменение времени выхода на режим и потребляемой мощности МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000 зав. № 211360 при испытании на долговечность

Полученные в процессе испытаний параметры и технические характеристики МКС соответствуют заданным в ЧТЗ и ПМ. Отказов МКС при испытаниях не зафиксировано.

По результатам испытаний рабочей конструкторской документации МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000 присвоена литера "О", МКС допущены к проведению государственных испытаний в составе ТПВК-24Н.

В 2003—2005 гг. ООО «НТК "Криогенная техника"» было изготовлено несколько опытных образцов МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000. Характеристики МКС, приведенные в табл. 2 и на рис. 6, подтверждают, что получен достаточно стабильный результат, удовлетворяющий условиям их применения.

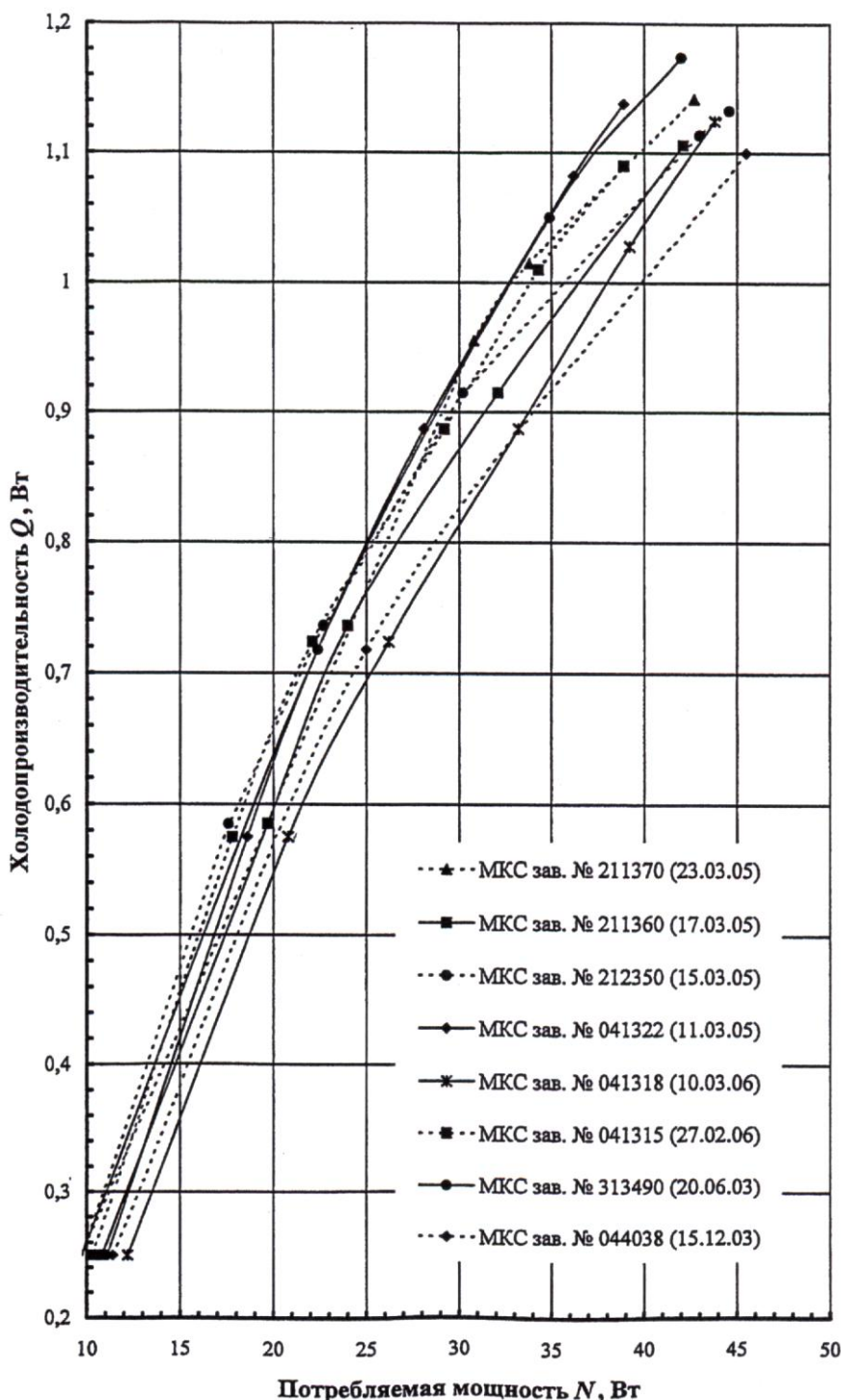


Рис. 6. Зависимость холодопроизводительности от потребляемой мощности для МКС КВО.0733.000 в нормальных климатических условиях

Таблица 2

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

Параметры	Зав. № МКС									
	313490	211370	212350	211360	044038	041322	041315	041318	Среднее значение	Требование ТУ
Температура окружающей среды	+65 °С									
Время достижения температуры, мин:										
100 К	4'08"	4'19"	4'33"	4'01"	4'59"	3'58"	4'22"	4'33"	4'23"	Не более 8
80 К	5'15"	5'10"	5'33"	5'01"	5'59"	4'43"	5'28"	5'49"	5'19"	
Потребляемая мощность МКС, Вт:										
в пусковом режиме	58,6	59,4	55,1	59,4	52,8	58,8	59,4	56,7	59,3	Не более 60
в рабочем режиме	17,8	16,0	15,1	15,4	16,1	14,0	16,2	18,4	16,5	Не более 35
Температура окружающей среды	+23 °С									
Время достижения температуры, мин:										
100 К	4'16"	4'08"	3'40"	3'17"	4'19"	3'45"	3'49"	4'01"	3'41"	
80 К	3'40"	5'00"	4'27"	3'56"	5'08"	4'22"	4'42"	5'12"	4'26"	
Потребляемая мощность МКС, Вт:										
в пусковом режиме	40,1	39,4	41,3	43,2	49,1	35,6	44,8	41,6	42,9	
в рабочем режиме	10,0	11,3	9,7	9,7	11,1	9,7	10,3	12,2	10,8	
Температура окружающей среды	-60 °С									
Время достижения температуры, мин:										
100 К	3'00"	2'42"	4'09"	2'41"	3'36"	4'14"	2'35"	2'50"	3'38"	
80 К	4'05"	3'25"	5'08"	3'22"	4'34"	5'07"	3'22"	3'38"	4'31"	
Потребляемая мощность МКС, Вт:										
в пусковом режиме	32,4	36,8	27,5	34,8	24,4	20,2	44,0	33,0	28,8	
в рабочем режиме	6,8	6,2	6,7	6,5	5,9	8,6	7,3	6,2	7,2	

**Л и т е р а т у р а**

1. Meijers M., Benschop A. A. J., Mullie J. C. High reliability coolers under development at Signaal-USFA/SPIE. 2000. V. 4130. P. 385—393.  
 2. Keung C.S., Narayan R. Compact, dual-piston Stirling cryocoolers for IR imaging systems//Ibid. 1994. V. 2224. P. 180—188.

3. Yuan S. W. K., Kuo D. T., Loc A. S., 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.  
 4. Kuo D. T., Loc A. S., Lody T. D., Yuan S. W. K. Cryocooler Life Estimation And its Correlation With Experimental Data//Advances in Cryogenic Engineering Conference 45, NY. 1999. P. 267—273.

Статья поступила в редакцию 25 июня 2006 г.

**Testing results of microcryogenic system based on the Split-Stirling gas cryogenic machine МСМГ-3В-1/80, which is a generic module of interspecific application for the second generation infrared imaging channel**

M. V. Lipin, A. V. Smirnov, H. V. Zabenkova  
 STC "Cryogenic Technique Ltd.", Omsk, Russia

*In this paper are performed test results of microcryogenic system МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000, which allow to give to design documentation the letter "O" and admit it to carrying out of state testing consisting of infrared imager ТИБК-24Н. Here also are brought the parameters of microcryogenic system getting at carrying out of acceptance and delivery trials of test samples lot. Small changes of microcryogenic system's parameters are shown during tests (including reliability and durability tests).*