

УДК 621.52/39-181.4

Ускоренные испытания на безотказность микрокриогенных систем для матричных фотоприёмных устройств

А.И. Еремчук, Н.Н. Оганесян, А.И. Патрашин, А.В. Самвелов, Д.А. Сысоев, Д.А. Широков

Проведены испытания безотказности опытных образцов микрокриогенных систем (МКС) для матричных фотоприёмных устройств (МФПУ). Безотказность МКС испытывалась для заданной температуры криостатирования, времени выхода на режим и мощности, потребляемой в стационарном режиме. Испытания проводились методом непрерывной работы и методом включения-выключения МКС. Представлены результаты исследований экспериментальных зависимостей потребляемой мощности и времени выхода на режим от времени наработки МКС для обоих режимов испытаний. .

PACS: 85.60.Gz

Ключевые слова: микрокриогенная система, испытания, матричные фотоприёмные устройства

Введение

Микрокриогенные системы (МКС) Стирлинга широко используются для охлаждения фоточувствительных элементов (ФЧЭ) матричных фотоприёмных устройств (МФПУ). Пониженная рабочая температура ФЧЭ необходима для обеспечения высоких фотоэлектрических характеристик МФПУ: пороговой облучённости; пороговой мощности; обнаружительной способности; пороговой разности температур и др. Помимо фотоэлектрических характеристик, еще одним из важнейших условий эксплуатации МФПУ, выдвигаемых потребителем, является среднее время наработки до отказа. Это время определяется и средним временем наработки

матричного фотоприёмника (МФП), и средним временем наработки МКС [1-4]. Характерная величина среднего времени до отказа у современных МФПУ достигает 6–8 тысяч часов. Это означает, что среднее время наработки МКС до отказа должно быть выше этого значения. Величина эта довольно велика, т.к. при 8-часовой рабочей смене понадобится более 1000 смен, чтобы провести прямые испытания безотказности МКС.

Отсюда возникла естественная задача – разработать методику ускоренного испытания МКС, существенно сокращающую время испытания на безотказность. Такая методика была разработана и опробована [1-4]. Она включает в себя два метода:

метод 1 – непрерывные испытания, длительностью 120 часов с разбивкой на 12 временных интервалов, с периодическим контролем параметров МКС;

метод 2 – циклические испытания, длительностью 120 часов работы МКС, состоящие из 500 циклов «включение-выключение» МКС.

В данной работе проведены испытания МКС по новой методике. Цель исследований – определение средней наработки МКС до отказа. Исследуемым параметром при испытаниях являлась потребляемая мощность в стационарном режиме $N_{изм}$ при заданной температуре криостатирования,

Еремчук Анатолий Иванович, главный технолог – начальник производства.

Оганесян Николайос Норикович, инженер.

Патрашин Александр Иванович, ведущий научный сотрудник.

Самвелов Андрей Витальевич, начальник НТЦ–МКС.

Сысоев Дмитрий Анатольевич, инженер

Широков Денис Анатольевич, инженер-конструктор 1-й категории.

ОАО «НПО «Орион».

Россия, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2.

E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 20 ноября 2012 г.

© Еремчук А.И., Оганесян Н.Н., Патрашин А.И., Самвелов А.В., Сысоев Д.А., Широков Д.А., 2013

соответственно, контролируемые параметры являлись температура криостатирования T и время выхода на стационарный режим t .

Объект исследования

Объектом испытания являлись два опытных образца МКС. Оценивалась средняя наработка МКС до отказа в типовом режиме эксплуатации при температуре криостатирования 80 К, потребляемой мощности в стационарном режиме не более 8 Вт, времени выхода на стационарный режим не более 300 секунд. Она должна была составить не менее 8000 ч при не менее чем 800 включениях-выключениях.

Метод 1. Время непрерывной работы МКС в цикле – 10 часов. Перерыв между циклами непрерывной работы – 40 мин. За время испытаний МКС должна была обеспечить 12 циклов включения. Типовой режим эксплуатации – нормальные климатические условия (НКУ).

Наработка состояла из последовательности одинаковых циклов непрерывной работы, содержащих включение МКС, выход на режим, непрерывную работу в течение 10 часов, выключение изделия, перерыв в работе длительностью 40 мин. Полная наработка изделия составила 120 ч (12 циклов непрерывной работы).

В данном методе испытания, при постоянном контроле температуры криостатирования $T = 80$ К, по измеренным значениям потребляемой мощности $N_{\text{изм}}$ строится кривая $N_{\text{изм}}(t)$. Определяются начальное и конечное значения измеряемой мощности $N_{\text{изм}}(0)$ и $N_{\text{изм}}(120 \text{ ч})$. МКС считается годной, если $N_{\text{изм}}(120 \text{ ч}) \leq N_p(120 \text{ ч})$, температура криостатирования составляла 80 К, а время выхода на режим не превышало пяти минут. Здесь $N_p(120 \text{ ч})$ – расчетное значение потребляемой мощности через 120 ч работы МКС. Метод ее расчета приведен ниже.

Метод 2. Время работы МКС в цикле – 5 минут (от включения до выключения). Время отогрева (время между выключением МКС и последующим включением) – 50 мин. За время испытания МКС должна обеспечить 500 циклов включения-выключения. Типовой режим эксплуатации – НКУ. Полная наработка МКС при испытании составила 125 часов.

В данном методе по измеренным значениям потребляемой мощности $N_{\text{изм}}$ строилась кривая $N_{\text{изм}}(n)$, где n – число циклов (включений). Определялись начальное и конечное значения потребляемой мощности $N_{\text{изм}}(0)$ и $N_{\text{изм}}(500)$. МКС считается годной по безотказности, если $N_{\text{изм}}(500) \leq N_p(500)$, температура криостатирования составляла 80 К, а время выхода на режим не превышало пяти минут. Здесь $N_p(500)$ – расчетное значение потребляемой мощности через 500 циклов работы МКС. Метод ее расчета приведен ниже.

Обоснование метода

Использовалась экспоненциальная модель отказов МКС.

Тогда, в интервале $0 \leq t \leq T_{\text{cp}}$, для начального значения потребляемой мощности N_1 и заданного конечного ее значения N_0 граничная кривая зависимости $N_p(t)$ описывается следующим уравнением:

$$N_p(t) = N_1 \cdot \exp\left(\frac{t}{T_1}\right), \quad (1)$$

Найдем T_1 из следующего соотношения

$$N_p(T_{\text{cp}}) = N_1 \cdot \exp\left(\frac{T_{\text{cp}}}{T_1}\right) = N_0, \quad (2)$$

тогда

$$T_1 = \frac{T_{\text{cp}}}{\ln\left(\frac{N_0}{N_1}\right)}, \quad (3)$$

где T_{cp} – заданная величина среднего времени до отказа.

Подставив значение T_1 в (1), получим

$$N_{\text{изм}}(t) \leq N_1 \cdot \exp\left[\frac{t}{T_{\text{cp}}} \cdot \ln\left(\frac{N_0}{N_1}\right)\right] = N_1 \cdot \left(\frac{N_0}{N_1}\right)^{\frac{t}{T_{\text{cp}}}} \quad (4)$$

Начальное измеренное значение потребляемой мощности N_1 подставляется в формулу (4), которая рассчитывает значение потребляемой мощности $N_p(t)$ в методе 1 и $N_p(n)$ в методе 2 при заданной наработке T_{cp} и заданном максимальном значении потребляемой мощности N_0 при $t = T_{\text{cp}}$. Затем рассчитанное значение мощности $N_p(120 \text{ ч})$ в методе 1 и $N_p(500)$ в методе 2 сравнивается с измеренным значением $N_{\text{изм}}(120 \text{ ч})$ в методе 1

и $N_{\text{изм}}(500)$ в методе 2 при этой же величине наработки.

МКС, у которых измеряемое значение $N(t)$ в любой момент времени t в интервале $0 \leq t \leq T_{\text{ср}}$ будет не более $N_p(t)$, будут удовлетворять заданному требованию по длительности безотказной работы. При этом для каждого начального значения $N(0) = N_1$ существует своя расчетная граничная кривая, а экспериментальные точки должны располагаться ниже этой кривой.

Начальное значение расчетной кривой задается экспериментальной величиной потребляемой мощности N_1 , а конечное значение заданной величиной потребляемой мощности N_0 .

Тогда, зная зависимость потребляемой мощности $N_p(t)$ испытуемой МКС, через заданный промежуток времени t_0 измеряют величину $N_{\text{изм}}(t_0)$ и сравнивают ее с рассчитанным значением потребляемой мощности $N_p(t_0)$. Если измеренное значение ниже расчетного, то изделие можно считать выдержавшим испытание и продолжить его использование в течение оставшегося времени эксплуатации.

Результаты исследования

Были проведены испытания двух образцов МКС, работающих по циклу Стирлинга. МКС были состыкованы с тепловыми

имитаторами с теплопритоком 0,25 Вт и охлаждаемой массой 3,5 г. По полученным результатам измерений построены графики зависимости изменения стационарной мощности потребления и времени выхода на режим от количества наработанных часов и количества циклов включения-выключения МКС. Графики и расчеты сделаны с помощью пакета Excel.

На рис. 1 представлена экспериментальная зависимость стационарной мощности от времени наработки по методу 1. Из соотношения (3) рассчитывается среднее время наработки до отказа $T_{\text{ср1}}$. При этом начальная мощность берется из эксперимента. По начальной точке рассчитана теоретическая зависимость стационарной мощности от времени наработки для $T_{\text{ср}} = 8000$ часов.

В табл. 1 представлены теоретические и экспериментальные данные по стационарной мощности от времени наработки машины.

Кривая усредненной зависимости измеренной стационарной мощности проходит ниже кривой теоретической зависимости изменения стационарной мощности, заданной для $T_{\text{ср}} = 8000$ часов, то есть $N_{\text{изм}}(120) < N_p(120)$. Это означает, что $T_{\text{ср1}} > 8000$ часов, а МКС должна выдержать испытание на безотказность. Из усредненной теоретической зависимости измеренной стационарной мощности, полученной из со-

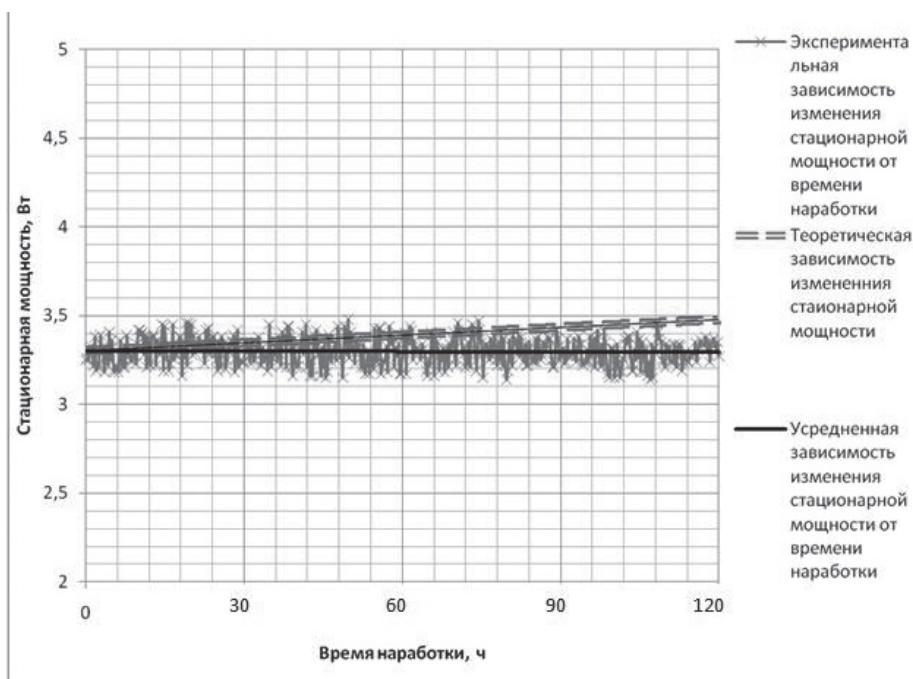


Рис. 1. Зависимость стационарной мощности полученной по методике 1 от времени наработки и расчетная зависимость изменения стационарной мощности.

Таблица 1

Данные расчета стационарной мощности от времени наработки машины.

Расчетная стационарная мощность в начале наработки, Вт	$N_p(0) = 3,303$
Расчетная стационарная мощность в конце наработки, Вт	$N_p(120) = 3,478$
Измеренная стационарная мощность в начале наработки, Вт	$N_{изм}(0) = 3,303$
Измеренная стационарная мощность в конце наработки, Вт	$N_{изм}(120) = 3,305$
Усредненная теоретическая зависимость требуемой стационарной мощности, Вт	$N(t) = 3,303 \cdot \left(\frac{8}{3,303} \right)^{\frac{t}{8000}}$
Усредненная теоретическая зависимость измеренной стационарной мощности, Вт	$N_{эс}(t) = 3,303 \cdot \left(\frac{8}{3,303} \right)^{\frac{t}{17540}}$

отношения (4), следует, что экспериментальное среднее время наработки до отказа $T_{ср1} = 17540$ часов.

На основе полученных данных можно сделать вывод о безотказности первого образца МКС. Температура криостатирования поддерживалась на уровне 80 К, время выхода не превышало пяти минут, отказов не выявлено, условие (4) соблюдено полностью.

На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость стационарной мощности от количества циклов включения-выключения образца, полученная по методу 2. На испытаниях по методу 2 был задействован второй образец МКС. Из соотношения (3) было рассчитано среднее время наработки до отказа $T_{ср2}$, полученное при $N_{изм}(500)$. При

этом начальная мощность берется из эксперимента. По экспериментальным точкам строится усредненная зависимость $N_{изм}(n)$, соответствующая соотношению (4). По начальной точке рассчитывается теоретическая зависимость стационарной мощности от количества циклов включения-выключения для $n = 800$ циклов. На всей расчетной области МКС работала стабильно.

В табл. 2 отражены данные, полученные из представленных графиков.

Кривая усредненной зависимости измерения стационарной мощности проходит ниже кривой расчетной зависимости стационарной мощности, заданной для $T_{ср} = 8000$ часов, то есть $N_{изм}(500) < N_p(500)$. Это означает, что МКС выдержит испытание на

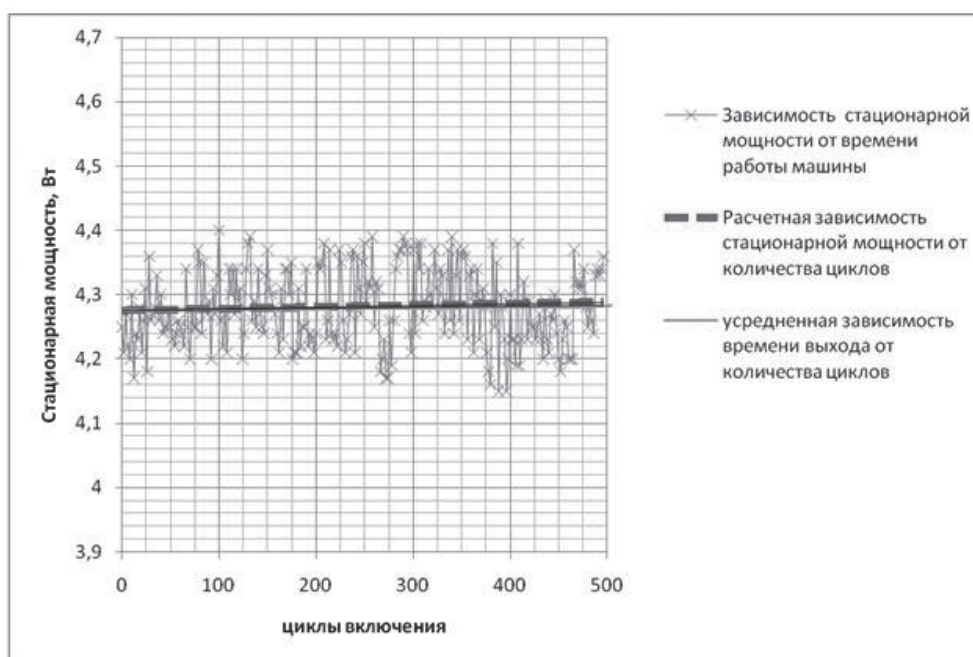


Рис. 2. Зависимость стационарной мощности полученной по методике 2 и расчетное значение мощности от количества циклов включения.

Таблица 2

**Данные расчета стационарной мощности
от количества циклов включения-выключения**

Расчетная стационарная мощность в начале наработки, Вт	$N_p(0) = 4,275$
Расчетная стационарная мощность в конце испытания, Вт	$N_p(500) = 4,289$
Измеренная стационарная мощность в начале испытаний, Вт	$N_{изм}(0) = 4,275$
Измеренная стационарная мощность в конце испытаний, Вт	$N_{изм}(500) = 4,283$
Усредненная теоретическая зависимость требуемой стационарной мощности, Вт	$N(n) = 4,275 \cdot \left(\frac{8}{4,275} \right)^{\frac{n}{8000}}$
Усредненная теоретическая зависимость измеренной стационарной мощности, Вт	$N(n) = 4,275 \cdot \left(\frac{8}{4,275} \right)^{\frac{n}{13967}}$

безотказность. Из усредненной экспериментальной зависимости стационарной мощности, полученной по соотношению (4), следует, что предполагаемое среднее время наработки составит 167600 циклов или 13967 часов непрерывной работы.

На основе полученных данных можно сделать вывод о безотказности 2-го образца МКС. Температура криостатирования поддерживалась на уровне 80 К, время выхода не превысило пяти минут, отказов не выявлено, условие (4) соблюдено полностью. Следовательно, второй образец МКС отработает заданное количество часов.

Заключение

Представлены результаты исследования работы двух опытных образцов МКС для криостатирования МФПУ в двух разных режимах, использующих 10-часовые циклы или циклы включения-выключения. В процессе испытаний отказов машины не выявлено, температура криостатирования поддерживалась на уровне 80 К, время выхода на стационарный режим не превышало пяти минут. Рассмотрены зависимости стационарной мощности и времени выхода на режим от времени наработки и от количества циклов включений-выключений. Исследования показали, что при работе первого образца МКС в режиме 10-часовых циклов ожидаемое среднее время наработки до отказа по стационарной мощности потребления соста-

вит 17540 часов. При работе второго образца МКС в режиме включения-выключения ожидаемое среднее время наработки до отказа по стационарной мощности потребления составит 167600 циклов или 13967 часов непрерывной работы.

Эти результаты показывают, что основным источником отказа МКС по потребляемой мощности является повышенное потребление мощности в период выхода на стационарный режим, т.к. в этом периоде существенно повышена нагрузка на двигатель МКС и внутренние движущиеся части системы. Во время стационарной работы МКС двигатель работает на значительно меньших оборотах, что позволяет продлить срок службы МКС.

Литература

1. Колесников А.М., Самвелов А.В., Словеснов К.В. // Прикладная физика. 2010. № 2. С. 80
2. Бурлаков И. Д., Болтарь К. О., Патрашин А. И., Дегтярев Е. В., Солодков А. А. // Прикладная физика. 2009. № 4. С. 119
3. Бурлаков И. Д., Болтарь К. О., Патрашин А. И., Дегтярев Е. В., Солодков А. А. // Прикладная физика. 2009. № 4. С. 124
4. Патрашин А.И., Болтарь К.О., Яковлева Н.И. Способ испытаний безотказности сложных устройств. Доклад на конференции по микрофотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, 2010.

Accelerated testing reliability of the microcryogenic coolers for focal plane arrays

*A.I. Eremchuk, N.N. Oganesyanyan, A.I. Patrashin, A.V. Samvelov,
D.A. Sysoyev, and D.A. Shirokov*

Orion R&P Association, Inc.
46/2 Enthusiasts road, Moscow, 111123, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

There are presented research results of specimens of microcryogenic coolers (MC) for cryostatting focal plane arrays (FPA) during the reliability test using a method of uninterrupted work and cyclic one. Also, there are analyzed some experimental dependencies of conformance to criteria on work time in the first mode and on a number of “on-off” loops in the second one under the given temperature of cryostatting. It is needed for following extrapolation of the given dependencies within average uptime for the purpose of confirmation of saving parameters.

PACS: 85.60.Gz

Keywords: microcryogenic cooler, testing, focal plane arrays, FPA.

Bibliography – 4 references

Received November 20, 2012

Информация



Одиннадцатый Всероссийский семинар «ПРОБЛЕМЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ И ИОННОЙ ОПТИКИ»

Москва, 28-30 мая 2013 года

Семинар организован
Государственным научным центром РФ
ОАО «НПО» Орион»

Официальные языки семинара:
русский и английский

при поддержке:

Минпромторга, Минобрнауки, ГК «Ростех», ОАО «Швабе», Научного совета РАН по проблеме «Ускорители заряженных частиц», Научного совета РАН по проблеме «Релятивистская сильно-точная электроника и пучки заряженных частиц», Оптического общества им. Д.С. Рождественского

Руководитель семинара –член-корреспондент
РАН Филачев А.М., генеральный директор
ОАО «НПО «Орион»

Программа семинара

Теоретическая электронная и ионная оптика, абберационный анализ электронно-оптических элементов и систем, электронная и ионная оптика интенсивных пучков, компьютерное моделирование электронно-оптических систем.

Электронно-оптические и ионно-лучевые приборы, устройства и оборудование аналитического и технологического назначения, электронно-лучевые установки технологического назначения, ионно-плазменное технологическое оборудование, электронно-лучевые трубки, электронно-оптические преобразователи.

Прецизионные электронно-лучевые, ионно-лучевые и ионно-плазменные приборы и устройства и технологии в создании и исследованиях микро- и наноструктур и наноматериалов.

Инжекторы ускорителей заряженных частиц, электронные пучки в системах электронного охлаждения; электронные пучки с рекуперацией энергии.

Проблемы взаимодействия электронных и ионных пучков с веществом, электронно-лучевые и ионно-плазменные технологии, элионные методы контроля в технологии производства полупроводниковых структур.

Программа семинара предусматривает приглашенные, устные и стендовые доклады. Материалы семинара будут опубликованы в *Трудах семинара* и журнале «Успехи прикладной физики».

Для представления устных докладов будет подготовлено оборудование для компьютерных презентаций: мультимедийный проектор, компьютер с операционной системой Windows 7. Презентация должна быть выполнена в одном из форматов: Microsoft PowerPoint, OpenOffice Impress или Adobe PDF.

Состав Программного комитета

Одиннадцатого Всероссийского семинара
«Проблемы теоретической и прикладной
электронной и ионной оптики»

Председатель – Филачев А.М., член-корреспондент РАН, ОАО «НПО «Орион»

Заместители председателя:

Бурлаков И.Д., дтн, доцент, ОАО «НПО Орион»
Дирочка А.И., дф-мн, профессор, ОАО «НПО «Орион»

Ответственный секретарь – Севалкина Л.Г., ОАО «НПО «Орион»

Члены программного комитета:

Акимов П.И., дф-мн, ФГУП «НПП «Торий»
Аристов В.В., член-корреспондент РАН, ИПТМ РАН
Бугаев А.С., академик РАН, МФТИ
Быков В.А., дф-мн, профессор, НИИ физических проблем им. Ф.В. Лукина
Васичев Б.Н., дф-мн, профессор, МИЭМ
Голиков Ю.К., дф-мн, профессор, С.-Пб. ТУ
Иванов С.В., академик РАН, ИФВЭ РАН
Ильин В.П., дф-мн, профессор, ИВМ и МГ СО РАН