

УДК 621.78

## АККУМУЛЯТОРЫ ХОЛОДА ДЛЯ БОРТОВЫХ КРИОГЕННЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

© 2015 В.И. Зиновьев, А.И. Довгялло

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет)

Статья поступила в редакцию 23.11.2015

Приведено обоснование применения аккумуляторов холода для обеспечения эксплуатационных температур на фоточувствительных элементах и защитной бленде фотоприёмного устройства и оптимального использования ресурса газовых криогенных машин бортовых систем охлаждения. Предложена оригинальная конструкция аккумулятора холода и результаты его испытаний на азоте и пропане в качестве рабочих тел.

*Ключевые слова:* криогенные системы охлаждения, аккумулятор холода, фото-приемное устройство, термостатирование, заправка криогенного аккумулятора рабочим телом, испытания.

Представленные в настоящей статье материалы являются развитием ранее опубликованных [1] предварительных результатов экспериментальных исследований.

Аккумуляторы холода (АХ) входят в состав бортовых криогенных систем охлаждения (БКСО) космических аппаратов (КА). Они предназначены для термостатирования фоточувствительных элементов, охлаждения защитной бленды фотоприемного устройства (ФПУ), а также (как будет показано в настоящей статье) для оптимального использования ресурса газовых криогенных машин (ГКМ). Использование АХ обусловлено циклическостью работы ФПУ и необходимостью выбора ГКМ по максимальной холодопроизводительности для пиковых тепловых воздействий на ФПУ.

Работа аккумулятора основана либо на использовании предварительно накопленного холода теплоемкой массой (физическое тепло), либо на использовании фазового перехода при низких температурах, например при испарении, сублимации или плавлении рабочего тела.

Поскольку запасы холода в АХ при отводе теплоты от охлаждаемых объектов с течением времени уменьшаются, для обеспечения длительной работы ФПУ требуется их периодическая перезарядка. Способ зарядки зависит от принципа работы АХ. Повторная зарядка АХ может быть произведена от криогенаторов, в качестве которых могут быть использованы газовые криогенные машины, дроссельные криоохладители, либо другие охлаждающие устройства.

При кратковременной работе ФПУ повторной зарядки АХ, как правило, не требуется, и тогда время его функционирования определяется величиной запасенного холода.

---

*Зиновьев Владимир Иванович, аспирант.*

*E-mail: teplotex\_ssau@bk.ru.*

*Довгялло Александр Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей.*

*E-mail: d.a.i@mail.ru*

Длительность работы АХ при прочих равных условиях определяется не только количеством запасенного холода, но и возрастанием теплопритоков, возникающих при передаче теплоты от теплоделяющего объекта к рабочему телу аккумулятора.

В [2] предложены принципиальные схемы охлаждения и термостатирования фото-приемных устройств инфракрасного диапазона (ФПУ-ИК) на криогенных уровнях БКСО. Рассмотрены расчетные случаи работы аккумулятора холода на основе металлических рабочих тел. Показано, что массогабаритные и температурные характеристики теплоёмкой насадки определяются теплофизическими характеристиками материала. Предложенная в [2] методика позволяет сделать выбор материалов насадок аккумуляторов холода, исходя из имеющихся массо-габаритных ограничений, условий теплообмена ФПУ и теплоаккумулирующей насадки, а также условий работы микрокриогенной системы (МКС).

В патенте [3] предлагается способ получения низких температур путем вакуумирования жидкой бинарной смеси криоагентов (например, смеси жидких азота и кислорода, жидких пропана и метана). Суть способа состоит в том, что смешанные компоненты ведут после предварительного охлаждения обоих компонентов смеси до температуры ниже тройной точки одного из компонентов, при которой этот компонент находится в твердом, а другой в жидком состоянии. После смешения в теплоизолированном сосуде температура образовавшейся жидкой смеси понижается за счет плавления твердого компонента. В зависимости от начальной температуры до смешения соотношение компонентов и их теплофизических свойств эффект понижения температуры за счет растворения твердого компонента составляет 3 – 8 К. Дальнейшее понижение температуры ведут за счет вакуумирования жидкой смеси.

Указанный способ получения низких температур может послужить основой для создания АХ

на бинарных смесях с температурами криостатирования в пределах  $T=(56-58)K$  (смесь жидких  $O_2$  и  $N_2$ ) и  $T=(80-83)K$  (смесь жидких пропана и метана).

В патенте [4] предложен способ криостатирования объекта (фотоприемного устройства ИК-диапазона: фоточувствительного элемента и фоновозащитной бленды) и устройство для его осуществления (АХ). Использование заявленного решения по сравнению со всеми известными способами и устройствами аналогичного назначения обеспечивает следующие преимущества:

- уменьшение массы и габаритов системы охлаждения криостатируемого объекта за счет снижения массы используемого рабочего тела;
- увеличения ресурса работы системы охлаждения криостатируемого объекта за счет периодичности работы внешнего охлаждающего устройства;
- уменьшение диапазона колебаний температуры криостатируемого объекта путем поддержания постоянной температуры теплопровода за счет поглощения избыточного тепла при фазовых переходах рабочего тела;
- уменьшение температурного перепада между рабочим телом криоаккумулятора и криостатируемым объектом за счет максимального приближения твердой фазы рабочего тела к объекту охлаждения.

В соответствии с патентом [4] был разработан и изготовлен экспериментальный образец аккумулятора холода (рис. 1).

Испытания АХ проводились на твердом азоте и твердом пропане на экспериментальной установке, выполненной в двух модификациях.

Экспериментальный образец аккумулятора холода состоит из следующих элементов: силового корпуса; оболочки внутренней медной; холодопровода с поперечным оребрением; фитиля сетчатого; датчиков контроля давления и температуры; экранно-вакуумной теплоизоляции (ЭВТИ).

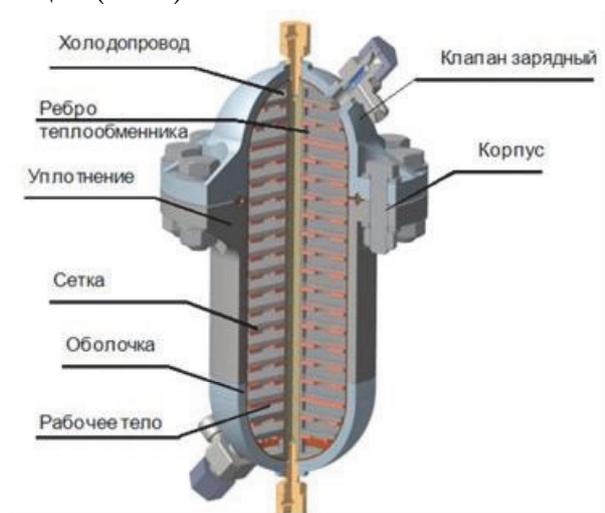


Рис. 1. Экспериментальный образец аккумулятора холода

Схема экспериментальной установки, расположение ее в термо-вакуумной камере, расположение датчиков температуры и нагревателей приведены на рис. 2, (модификация №1 сборки экспериментальной установки соответствует испытаниям на азоте; модификация №2 – испытаниям на пропане).

В состав экспериментальной установки входят:

- аккумулятор холода (объект испытаний);
- система заправки аккумулятора холода рабочим телом (азот, пропан);
- система обеспечения теплового контакта охладителя газовой криогенной машины с аккумулятором холода («тепловой» ключ);
- газовая криогенная машина (ГКМ) Гиффорда-Мак-Магона;
- экранно-вакуумная теплоизоляция ГКМ и аккумулятора холода;
- нагреватели;
- датчики давления и температуры;
- охлаждаемый экран аккумулятора холода;
- система подвески установки на люк термо-вакуумной установки (ТВУ);
- система регистрации измеряемых параметров.

При испытаниях на твердом азоте испытывался вариант 1 сборки экспериментальной установки с заправкой 0,2 кг азота. АХ был расположен вертикально, холодопроводы ГКМ стыковались сверху, тепловая нагрузка – снизу (нагреватель N2).

Все коммуникации экспериментальной установки подводятся к ГКМ и АХ через гермовводы.

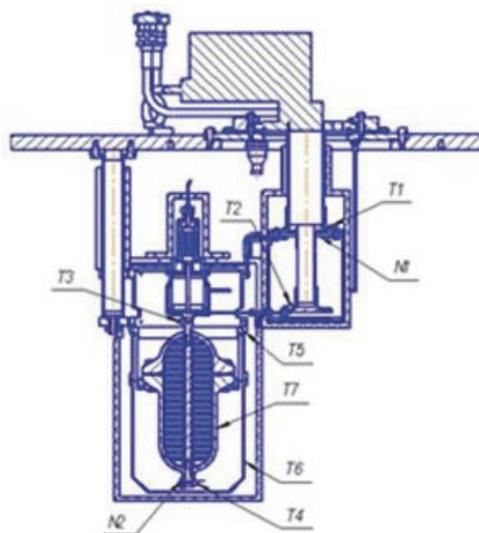


Рис. 2. Схема расположения АХ

в термо-вакуумной камере, расположение датчиков температуры и нагревателей:

- T1 – температура охладителя первой ступени МКС,
- T2 – температура охладителя второй ступени МКС,
- T3 – температура «теплого» конца холодопровода,
- T4 – температура «холодного» конца холодопровода,
- T5, T6 – температура защитного экрана, T7 – температура корпуса аккумулятора, N1, N2 –нагреватели

Срабатывание «теплого» ключа контакта холодопроводов ГKM и АХ осуществляется подачей гелия в сильфон под давлением  $0,4 \pm 0,05$  МПа.

Аккумулятор холода помещен в охлаждаемый кожух с температурой охладителя первой ступени ГKM, что позволяет снизить радиационный тепловой поток к АХ. Элементы конструкции экспериментальной установки (охлаждаемый экран, холодопроводы, «тепловой» ключ и др.) защищены матами экранно-вакуумной теплоизоляции.

Для управления процессом криостатирования при плавлении рабочего тела предусмотрена установка нагревателя N2 на холодопроводе АХ. Нагреватели, установленные на охладителях I и II ступеней ГKM, служат для задания потребной холодопроизводительности.

### ИСПЫТАНИЕ АХ НА ТВЕРДОМ АЗОТЕ

При испытаниях ставились следующие цели:

- обоснование возможности работы АХ на твердом азоте при температуре тройной точки азота  $T_{тр} = 63,2$  К для криостатирования ФЧЭ ФПУ;
- оценка возможности использования капиллярного эффекта для подачи жидкого азота в зону теплопритоков аккумулятора с целью обеспечения стабильного температурного уровня на ФЧЭ;
- исследование процесса захолаживания, отверждения и плавления рабочего тела.

В задачи испытаний входило:

- отработка конструктивных решений АХ и экспериментальной установки;
- отработка технологии заправки АХ;
- определение необходимых температурных уровней для обеспечения процессов отверждения и плавления рабочего тела в приемлемые временные интервалы;
- оценка эффективности экранно-вакуумной теплоизоляции АХ и конструкции экспериментальной установки для реализации запланированных термодинамических процессов в системе.

Перед проведением испытаний было проведено измерение свободного объема аккумулятора холода. Свободный объем аккумулятора холода составил  $V=450,1$  см<sup>3</sup>.

Заправка АХ производилась из баллона с газобразным азотом давлением  $P=15$  МПа методом «криоподсоса».

Исходя из предельно допустимого давления для конструкции (что может проявиться при отогреве и несрабатывании предохранительного клапана), масса заправки была ограничена величиной  $m=0,2$  кг. Для определения текущей массы и параметров состояния рабочего тела при заправке и по её окончанию, соответственно в изобарическом и изохорическом процессах, использовалась программа «TANK2» [4]. Точность соответствия массы заправки расчетным зна-

чениям составляла менее 1%.

При проведении испытаний АХ был расположен вертикально, холодопровод MKC второй ступени стыковался сверху. Отогрев АХ до нормальных температур проводился включением нагревателя N1, установленного на первой ступени охладителя MKC.

Момент окончания заправки АХ определялся по показаниям датчика давления в АХ и датчиков температур T3, T4, T7 (рис.3,4).

Изменение температур на элементах экспериментальной установки при испытании АХ на азоте приведено на рис. 4.

На рис/ 5 приведена циклограмма работы системы BKCO криостатирования линеек с ФЧЭ ФПУ-ИК с АХ на азоте, которая соответствует требованиям обеспечения температуры криостатирования линеек с ФЧЭ в течение 3-х лет эксплуатации КА (25500 часов) при ресурсе MKC 10000 часов.

Используя программу «GAZ 1» [6], был определен коэффициент сжимаемости в уравнении состояния, что позволило определить массу азота:

$$m = \frac{P \cdot V \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{14,6 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot 0,451 \text{ л} \cdot 28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{0,66046 \cdot 8,31441 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 174 \text{ К}} = 0,193 \text{ кг.}$$

здесь: P – давление газообразного азота в полости АХ, Па; V – объем полости криоаккумулятора, л; M – молярная масса азота, кг/моль; Z – коэффициент сжимаемости азота,  $Z = 0,66046$ ; R – молярная газовая постоянная,  $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ ; T – температура азота АХ, К.

Следует отметить, что при давлении  $P=14,6 \cdot 10^6$  Па и температуре  $T=174$ К азот находится в газообразном состоянии и занимает весь объем АХ. По показаниям датчика давления в полости АХ заправка его проводилась в течение ~12ч (рис. 3, 4).

По истечении ~29 часов охлаждение АХ привело к кристаллизации жидкого азота (показания датчиков  $T_4, T_7$ ). Температура кристаллизации составила  $T=63,3$ К (датчик  $T_4$ ). Время стабилизации показаний датчика ~1,8 часа. Сравнение показаний датчиков  $T_4$  и  $T_5$  свидетельствует о том, что жидкая фаза находится в нижней части емкости (показания датчика  $T_5$  ниже температуры кристаллизации на ~2К).

Отогрев объекта испытаний происходил за счет естественного отогрева экспериментальной установки. Время отогрева составило 2 ч 15 мин (рис. 4). В процессе плавления азота температура на «теплом» конце холодопровода  $T_4$  совпадает с температурой на «холодном» конце холодопровода  $T_5$  и равна  $63,3$ К, что свидетельствует об интенсивном теплообмене холодопровода внутри АХ.

В состав АХ входит сетчатый фильтр из бронзы с размером ячейки  $d=0,063$  мм.

Согласно формуле Борелли-Жюрена высота поднятия жидкости в капиллярах h равна:

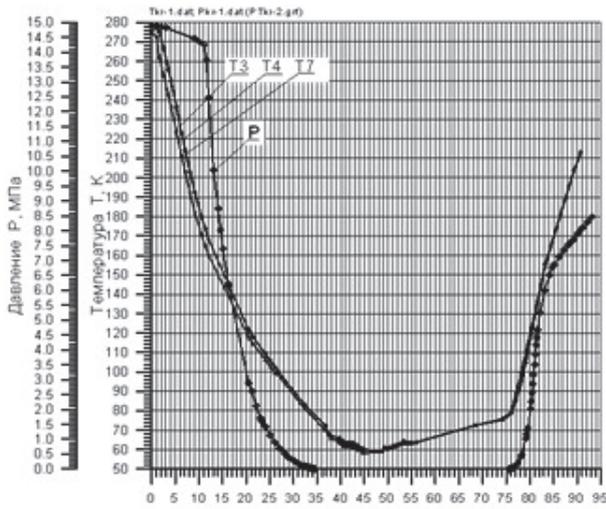


Рис. 3. Изменение температуры холодопровода, корпуса АХ и давления азотной среды в процессе испытаний:

$T_3$  – температура «холодного» конца холодопровода,  $T_4$  – температура «теплого» конца холодопровода,  $T_7$  – температура корпуса

$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{r_0 (\rho - \rho_0) g},$$

где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения;  $\theta$  – угол смачивания жидкостью стенки капилляра;  $g$  – ускорение свободного падения;  $r_0$  – радиус капилляра;  $\rho$  – плотность жидкости;  $\rho_0$  – плотность газовой фазы.

При полном смачивании  $\theta=0$ . Чем меньше радиус капилляра  $r_0$ , тем на большую высоту поднимается в ней жидкость. Высота поднятия столба жидкости растет также с увеличением коэффициента поверхностного натяжения (понижение температуры жидкой фазы) и уменьшения ускорения свободного падения (в невесомости).

При работе АХ в условиях пониженной гра-

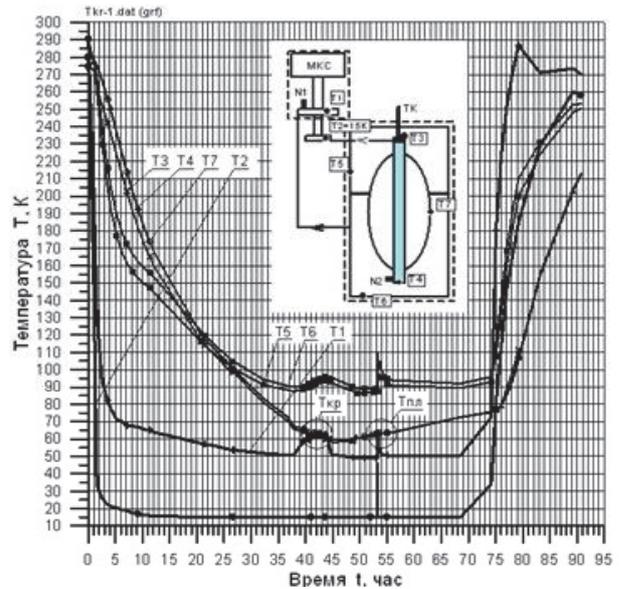


Рис. 4. Изменение температур на элементах экспериментальной установки при испытании АХ на азоте:

$T_1$  – температура охладителя первой ступени МКС,  $T_2$  – температура охладителя второй ступени МКС,  $T_3$  – температура «холодного» конца холодопровода,  $T_4$  – температура «теплого» конца холодопровода,  $T_5, T_6$  – температура защитного экрана,  $T_7$  – температура корпуса,  $T_{кр}$  – температура кристаллизации,  $T_{пл}$  – температура плавления,  $N_1, N_2$  – нагреватели

витации расположение жидкой и паровой фаз будет произвольным. Если материал внутренней оболочки смачивается криогенной жидкостью, то часть жидкой фазы будет располагаться на поверхности внутренней оболочки. Обычно оболочки сосудов выполняются из металла, а металлы смачиваются всеми криогенными жидкостями.

Следует ожидать, что в невесомости кристаллизация жидкости в АХ будет происходить по всему объему.

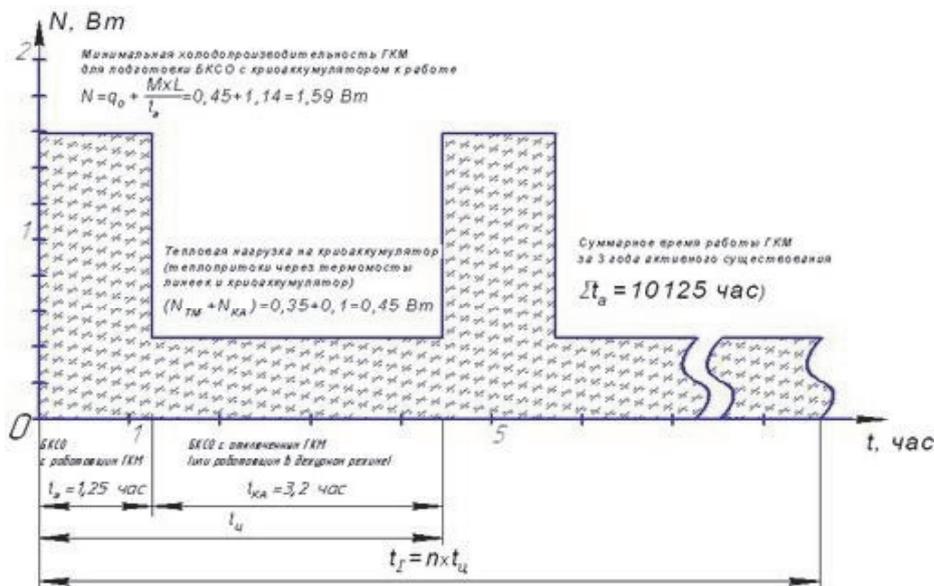


Рис. 5. Циклограмма работы системы криостатирования линеек с ФЧЭ ФПУ-ИК с АХ на азоте

При проведении наземных испытаний на твердом азоте уровень подъема жидкой фазы при  $\cos\theta=1, \rho \gg \rho_0, T=77\text{K}$  будет равен:

$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta}{r_0(\rho - \rho_0)g} = \frac{2 \cdot 8,8 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 1}{0,0315 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot 807,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 0,0706 \text{ м.}$$

То есть, при заправке азотом массой  $m \approx 0,2$  кг уровень жидкости в аккумуляторе холода составит  $V \approx 0,25$  л. Подъем жидкости на высоту  $h=0,0706$  м не позволит достигнуть верхней точки холодопровода в АХ.

### ИСПЫТАНИЯ АХ НА ТВЕРДОМ ПРОПАНЕ

Проводились на образце, на котором ранее были проведены испытания на твердом азоте. Вариант экспериментальной установки испытывался с заправкой 0,2 кг пропана, АХ расположен вертикально, холодопроводы МКС стыкуются снизу, тепловая нагрузка – сверху (нагреватель N2).

В цели испытаний входило обоснование возможности работы АХ на твердом пропане при температуре тройной точки  $T_{тр} = 85,2\text{K}$  для криостатирования бленды ФПУ-ИК.

Проведено три цикла кристаллизации и плавления пропана.

Первая заправка АХ проводилась методом перелива пропана из основного баллона с жидким пропаном давлением (1 - 1,2)МПа и периодического взвешивания оставшегося в баллоне пропана на весах ПВ-15.

АХ предварительно вакуумировался до давления 0,001МПа и захлаживался до температуры  $T_7 = (88 \pm 1)\text{K}$ . Этот метод заправки позволил провести зарядку АХ пропаном массой  $\sim 0,21$  кг.

В дальнейшем, после отогрева АХ пропан из основного баллона перекачивался в допол-

нительный стандартный баллон объемом 12 л; дополнительный баллон предварительно вакуумировался. Заправка производилась из баллона методом «криоподсоса». Масса заправленного пропана контролировалась взвешиванием баллона на весах.

Время захлаживания системы до температуры  $\sim 85\text{K}$  составило, в проведенном эксперименте,  $\sim 30\text{ч}$  (рис. 6, 7). Высокий темп снижения давления в аккумуляторе имел место в течение  $\sim 10\text{ч}$  (рис. 8).

На рис. 9 приведен характер процесса отверждения и плавления пропана в АХ в процессе испытания.

Процесс отверждения пропана начинается при температуре менее 85 К и протекал в течение  $\sim 2,6$  ч (датчики  $T_4, T_7$ ), при этом температура на холодопроводе (датчик  $T_3$ ) на (1 - 1,5) К ниже температуры отверждения (имеет место поддержание температурного напора МКС).

Полезная холодопроизводительность МКС можно определить как:

$$N = \frac{m \cdot r}{\tau} = \frac{0,2 \text{ кг} \cdot 80 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}}{2,6 \cdot 3600 \text{ с}} = 1,71 \text{ Вт.}$$

Здесь  $m$  – масса рабочего тела,  $r$  – теплота плавления пропана,  $\tau$  – время процесса кристаллизации.

При испытаниях сборки экспериментальной установки с АХ реализованы три цикла кристаллизации и плавления пропана (рис. 10, 11, 12).

Для всех участков плавления характерно повышенное на (3 – 3,5)К значение температуры  $T_4$  в зоне нагревателя N2.

Показания датчика  $T_3$  практически отслеживают температуру плавления пропана, показания датчика на корпусе АХ  $T_7$  на (0,5 - 2) К выше температуры плавления.

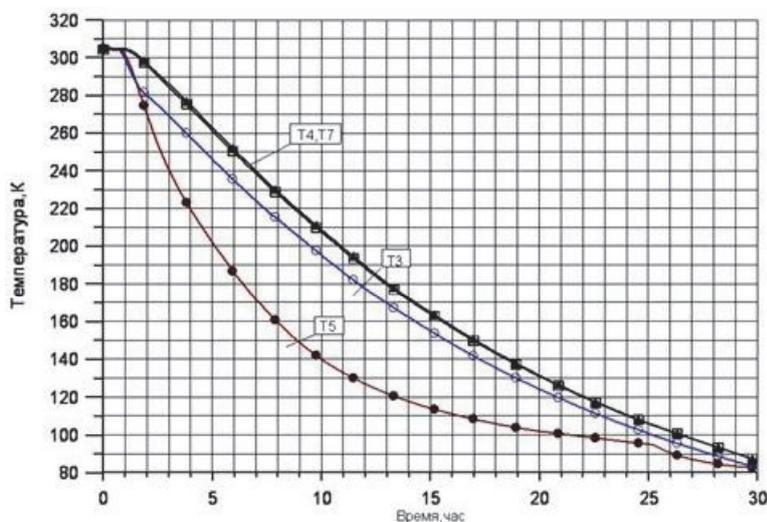
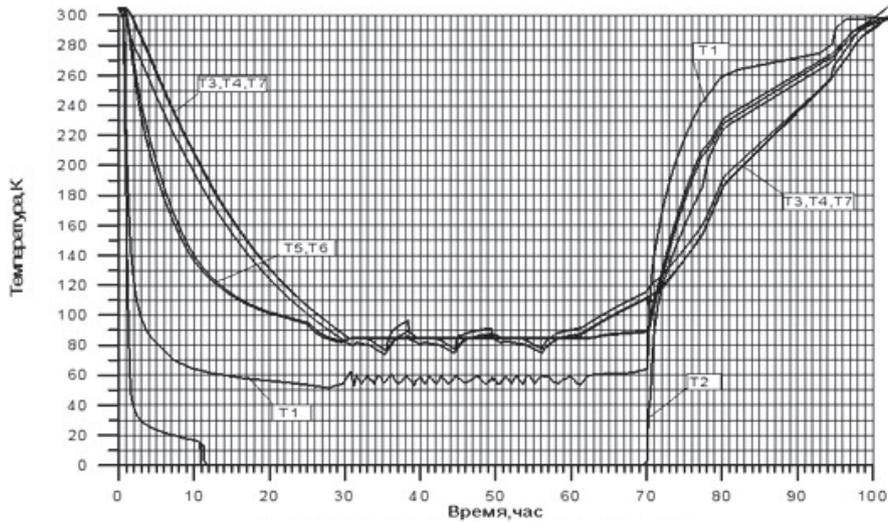


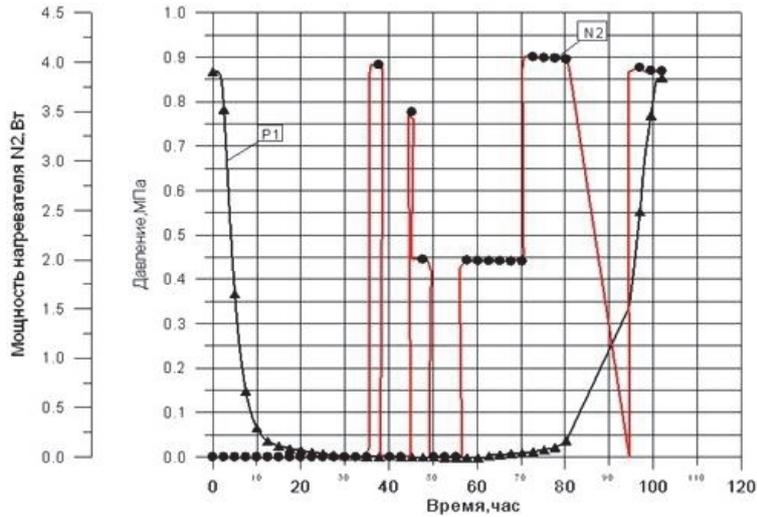
Рис. 6. Изменение температур на элементах экспериментальной установки в процессе испытания АХ на пропане

$T_3$  – температура «теплого» конца холодопровода,  $T_4$  – температура «холодного» конца холодопровода,  $T_5$  – температура защитного экрана,  $T_7$  – температура корпуса АХ)

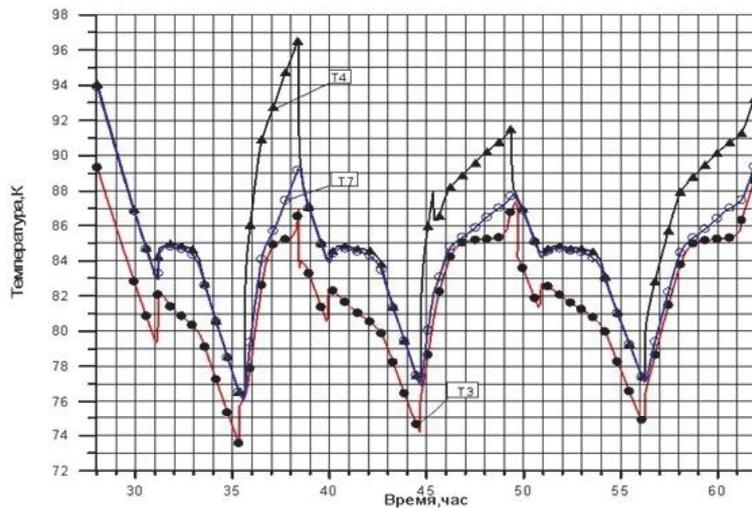


**Рис. 7.** Изменение температур на элементах экспериментальной установки в процессе испытания АХ на пропане:

T1, T2 – температура охладителя первой и второй ступени МКС, T3 – температура «теплого» конца холодопровода, T4 – температура «холодного» конца холодопровода, T5, T6 – температура защитного экрана, T7 – температура корпуса АХ



**Рис. 8.** Изменение давления  $P_1$  и мощности нагревателя  $N_2$  в процессе испытания АХ на пропане



**Рис. 9.** Изменение температур на элементах экспериментальной установки в процессе отверждения и плавления пропана в АХ в процессе испытания:

$T_3$  – температура «теплого» конца холодопровода,  $T_4$  – температура «холодного» конца холодопровода,  $T_7$  – температура корпуса АХ).

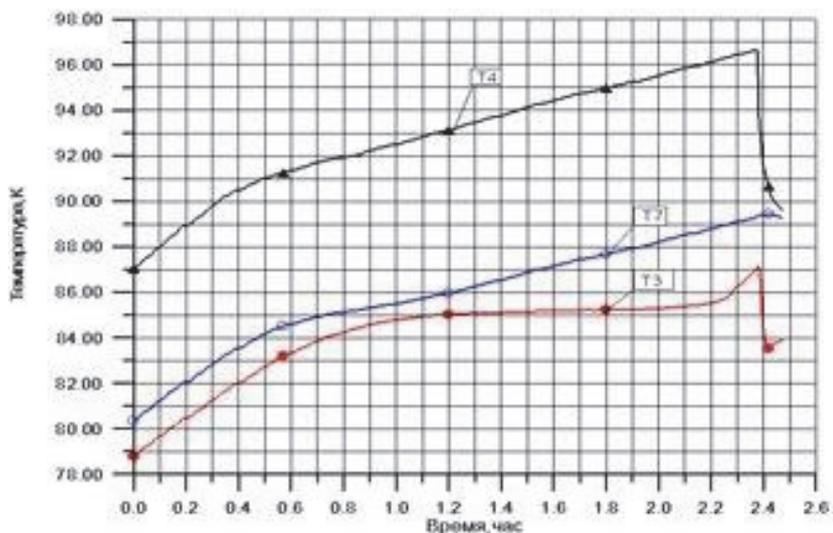


Рис. 10. Изменение температур на элементах экспериментальной установки в процессе плавления пропана на первом цикле испытаний АХ

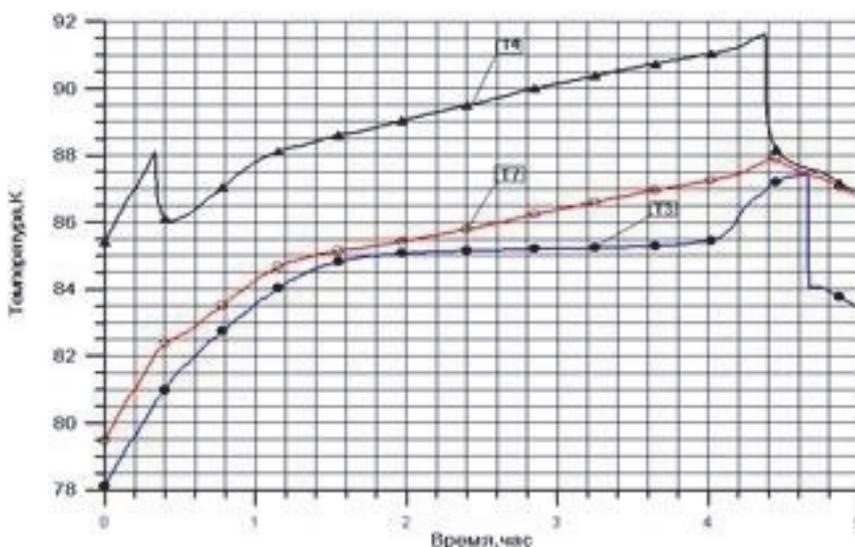


Рис. 11. Изменение температур на элементах экспериментальной установки в процессе плавления пропана на втором цикле испытаний АХ

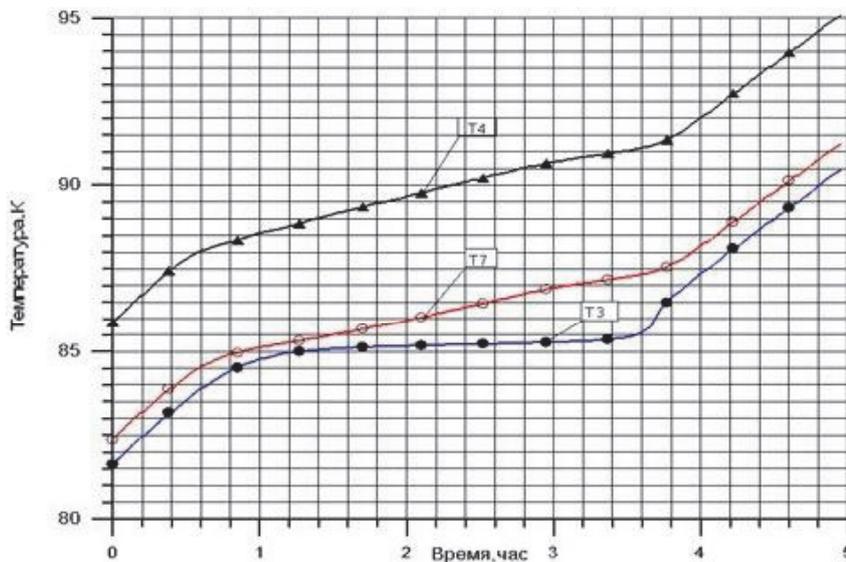


Рис. 12. Изменение температур на элементах экспериментальной установки в процессе плавления пропана на третьем цикле испытаний АХ

Продолжительность процесса криостатирования составляет ~ 2,3 ч (за исключением первой «полки», где продолжительность процесса плавления составила ~ 1,2 ч из-за высокой мощности теплового потока (~ 4Вт), подводимой нагревателем N2 (рис. 8).

Теплоприток к аккумулятору в этом случае будет равен:

$$N = \frac{m \cdot r}{\tau} = \frac{0,2 \text{ кг} \cdot 80 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}}{2,5 \cdot 3600 \text{ с}} = 1,78 \text{ Вт.}$$

При проведении наземных испытаний на твердом пропане уровень подъема жидкой фазы при  $\rho \gg \rho_0, \cos \theta = 1, T = 85\text{К}$  будет равен:

$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{r_0 \cdot \rho \cdot g} = \frac{2 \cdot 16,9 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot 1}{0,315 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot 467,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 0,234 \text{ м.}$$

Таким образом, при заправке АХ пропаном массой  $m = 0,2 \text{ кг}$  уровень жидкости по объему составит  $V = 0,428 \text{ л}$ . Подъем жидкости на высоту  $h = 0,234 \text{ м}$  позволяет достигнуть верхней точки холодопровода в АХ (в варианте подключения МКС снизу АХ).

На рис. 13 приведена циклограмма работы системы криостатирования бленды ФПУ-ИК с аккумулятором холода на пропане, которая позволяет, при прочих равных условиях, существенно увеличить суммарное время криостатирования и довести ресурс работы системы до 32000 часов при ресурсе самой МКС ~ 10000 часов.

В аккумуляторе, использующем теплоту плавления, фазовый переход проходит практи-

чески без увеличения удельного объема рабочего тела, что обеспечивает многократное использование АХ при циклическом замораживании посредством МКС.

Использование АХ при работе ФПУ-ИК позволяет избежать нежелательные вибрации ФЧЭ, которые, как правило, сопровождают работу МКС и приводят к ухудшению технических характеристик фото-приемных устройств.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан криогенный аккумулятор холода, предназначенный для обеспечения криостатирования элементов фотоприёмного устройства инфракрасного диапазона на температурных режимах около 80К.

Экспериментально обоснована возможность работы аккумулятора холода на твердом азоте с температурным уровнем  $T_{\text{т}} = 63,2\text{К}$  для криостатирования фоточувствительных элементов и на твердом пропане для криостатирования фоновозащитной бленды с температурным уровнем  $T_{\text{т}} = 85,2\text{К}$ .

Для расширения диапазона температур криостатирования целесообразно при проектировании криоаккумуляторов для систем охлаждения в качестве рабочего тела использовать угледородные смеси.

Система с криоаккумулятором на твердом пропане позволяет, при прочих равных условиях, существенно увеличить суммарное время криостатирования и довести ресурс работы системы охлаждения до 32000 часов при ресурсе самой

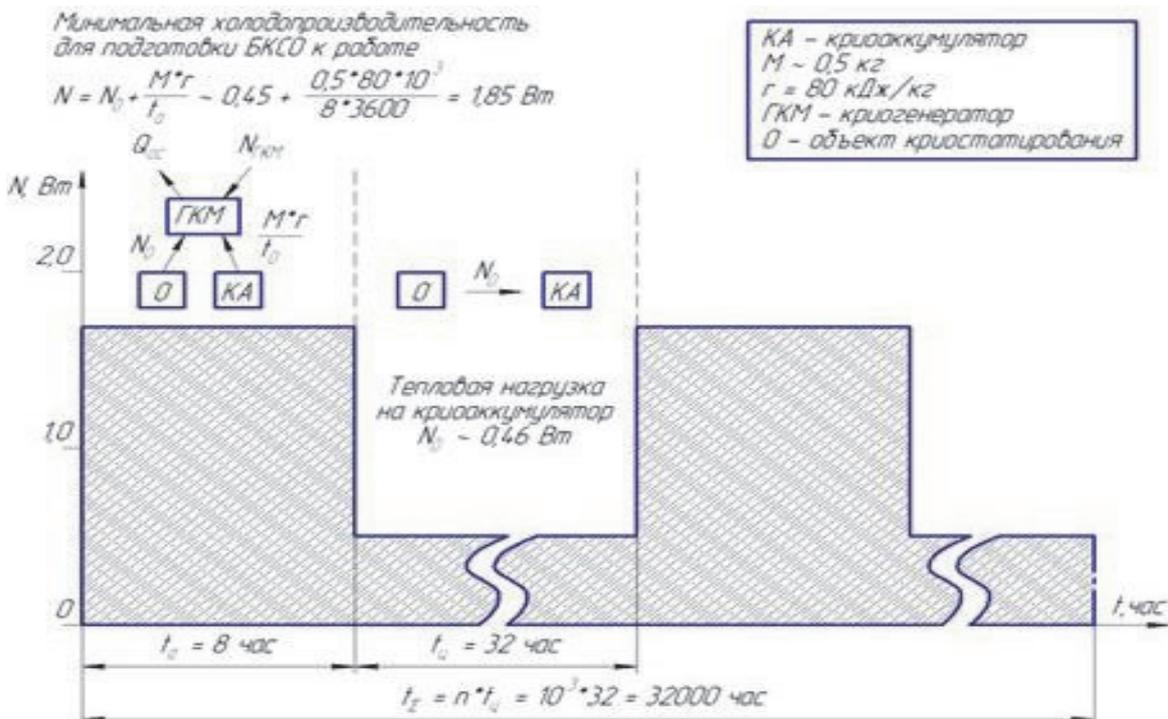


Рис. 13. Циклограмма работы системы криостатирования бленды ФПУ-ИК с АХ на пропане

газовой криогенной машины ~ 10000 часов, при этом обеспечивается стабильность температуры на достаточно высоком уровне ее постоянства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Zinovyev V.I. et al. Testing of spaceboard solid sate cryogenic accumulator for IR coolsystem equipment /V.I. Zinovyev1, A.I. Dovgyallo, E.K. Krasnochub/ International Journal of Engineering and Technology (IJET). Oct-Nov 2014. Vol 6, No 5.- p 2361-2367.*
2. *Красночуб Е.К. Определение теплофизических характеристик насадок аккумуляторов холода бортовых криогенных систем охлаждения космических аппаратов / Е.К. Красночуб //Вестник СГАУ,2004, №2(6), с. 80-87.*
3. Патент 2018066 РФ «Способ понижения температуры».
4. Патент 2406044 РФ, «Способ криостатирования объекта и устройство его осуществления», авторы: *Зиновьев В.И., Бурдыгин И.А., Воротников Г.В., Молодкин В.В., Русанов Ю.М.* Заявка 2009103507/06, 02.02.2009. Опубл. 10.12.2010г..
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008615776 РФ, «TANK2», авторы: *Зиновьев В.И., Воротников Г.В., Бурдыгин И.А., Гуторов В.Н.*; правообладатель ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-ПРОГРЕСС». –№2009103507/06; заявл. 02.10.08; зарегистрировано 02.12.08.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2008610682 РФ, «Программа расчета термодинамических параметров технически важных газов в однофазной области в широком диапазоне температур и давлений» «GAZ 1», авторы: *Воротников Г.В., Бурдыгин И.А.* правообладатель ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-ПРОГРЕСС». – заявка №2007614125; заявл. 22.10.07г.; зарегистрировано 07.02.08.

#### COLD ACCUMULATORS FOR ON-BOARD CRYOGENIC SYSTEM FOR SPACECRAFTS REFRIGERATION

© 2015 V.I. Zinovev, A.I. Dovgyallo

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov  
(National Research University)

Justification of cold accumulators application to provide an exploitation temperatures on photosensitive elements and protection blends of photo-receiving device and optimal use of the gas cryogenic machines lifetime of the board refrigeration system is carried out. Original design of the cold accumulator and results of its tests on nitrogen and propane working fluids is suggested.

*Key words:* cryogenic refrigeration system, cold accumulator, photo-receiving device, thermal regulation, fueling of cryogenic accumulator by working fluid, tests.

---

*Vladimir Zinovyev, Graduate Student.*

*E-mail: teplotex\_ssau@bk.ru*

*Alexander Dovgyallo, Doctor of Technics, Professor at the Thermal Engineering and Heat Engines Department.*

*E-mail: d.a.i@mail.ru*