

УДК 629.78

ЭКСПЕРИМЕНТ “МРТ” НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ ФОТОН-М № 4

© 2022 г. В. И. Абрашкин¹, Ю. Н. Горелов¹, *, Л. В. Курганская¹, А. В. Щербак¹

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва, Самара, Россия

*yungor07@mail.ru

Поступила в редакцию 10.09.2021 г.

После доработки 30.06.2022 г.

Принята к публикации 18.07.2022 г.

Приведено краткое описание научной аппаратуры МРТ (многоканальный регистратор температур) и полученные в ходе одноименного эксперимента данные о текущих температурах в локальных зонах контейнеров научной аппаратуры на внешней поверхности КА *ФОТОН-М № 4*. Указаны определяющие тепловой режим конструкции контейнеров научной аппаратуры наиболее существенные факторы, к которым относятся ориентация КА в течение всего полета панелями солнечных батарей на Солнце и светотеневая обстановка на витках.

DOI: 10.31857/S0023420622060012

ВВЕДЕНИЕ

В апреле 2013 г. с космодрома Байконур был запущен КА *БИОН-М № 1* с целью проведения комплекса научных экспериментов по космической биологии и медицине [1]. На базе этого КА был разработан модернизированный КА *ФОТОН-М № 4*, который также был запущен с космодрома Байконур в 00.50 Мск 19.VII.2014 (23.50 Дмв 19.VII.2014) [1], в программу научных исследований которого был включен эксперимент с научной аппаратурой (НА) МРТ (многоканальный регистратор температур [2]), предназначенной для измерения температур в локальных зонах контейнеров научной аппаратуры (КНА) на поверхности спускаемого аппарата (СА) на всех этапах эксплуатации КА. После 42-суточного полета на 694 витке в 13.18 Мск 1.IX.2014 СА КА успешно приземлился в заданном районе Оренбургской области. Основные результаты космического эксперимента (КЭ) с НА МРТ, полученные при полете КА *ФОТОН-М № 4*, были представлены в [3] в качестве экспресс-отчета. Результаты эксперимента “МРТ” были востребованы не только в связи с необходимостью интерпретации результатов некоторых КЭ на внешней поверхности КА *ФОТОН-М № 4*, но и при формировании научной программы для КА *БИОН-М № 2*, в состав НА которого была включена и аппаратура МРТ-2, аналогичная НА МРТ [4]. Запуск КА *БИОН-М № 2* планируется в 2023 г.

НАУЧНАЯ АППАРАТУРА МРТ

Проведение технологических и медико-биологических КЭ на борту научных автоматических КА в условиях открытого космического пространства и интерпретация их результатов, как правило, требует как текущего контроля, так и достаточно точного знания теплового режима конструкции используемой для этого научной и технологической аппаратуры. Для решения этой задачи для КА *ФОТОН-М № 4* (рис. 1) была разработана НА МРТ, предназначенная для измерения в течение всего полета КА текущих значений температуры в локальных зонах КНА [2–5] (рис. 2, 3). Соответственно, цель КЭ “МРТ” – мониторинг теплового состояния конструкции КНА на этапах подготовки КА к пуску и в течение его орбитального полета, а также на участке спуска с орбиты (при закрытых крышках КНА, рис. 2) и транспортировки СА на завод-изготовитель КА – Ракетно-космический центр “Прогресс”.

В [2, 3] приведено краткое описание НА МРТ. В состав этой НА входят датчики температуры (типа HRTS-5760-B), непосредственно устанавливаемые на днищах и на боковых стенках КНА (см. рис. 2, места их установки в КНА № 1, 2 и 4 идентичны), и размещаемый в СА блок регистрации данных. Связь между ним и системами датчиков температуры в КНА осуществляется с помощью кабелей через герморазъемы на СА. Масса НА МРТ составляет 445 г (без учета массы герморазъемов и кабелей связи).

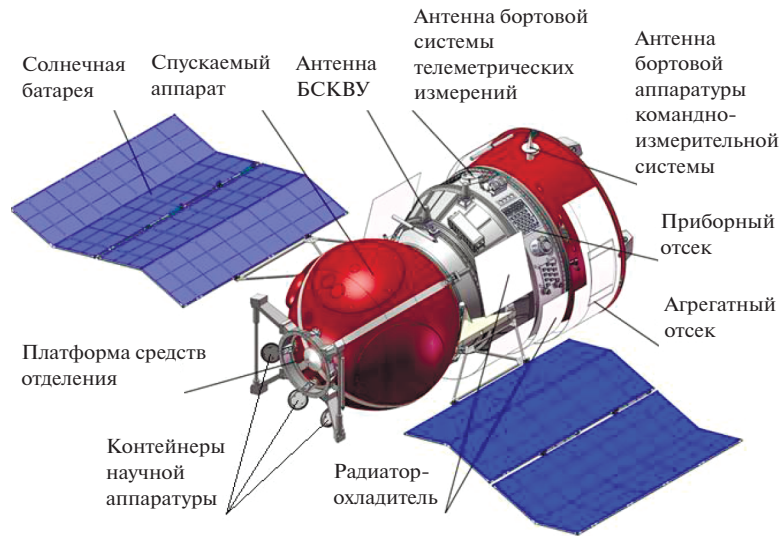
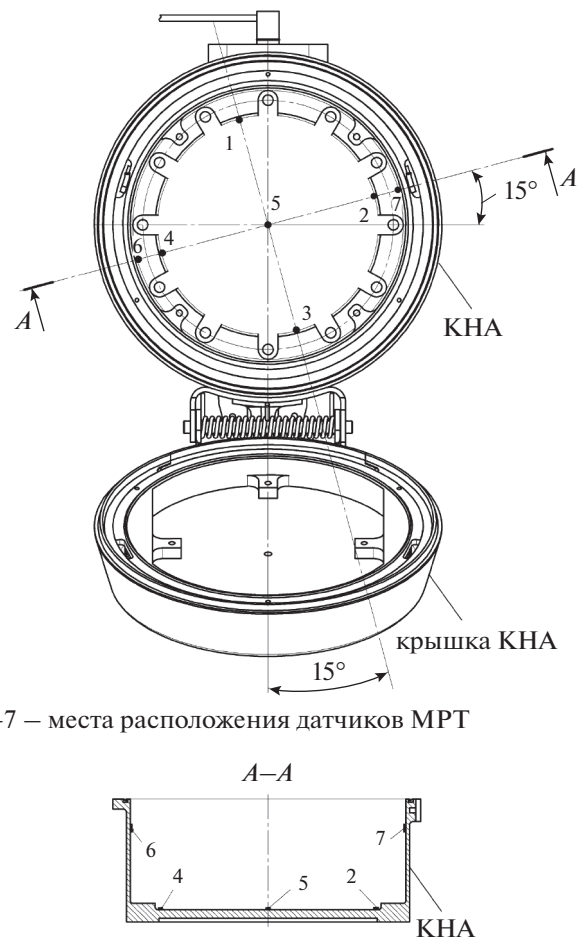


Рис. 1. Внешний вид КА ФОТОН-М № 4.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА “МРТ”

Для интерпретации полученных данных о текущих температурах в локальных зонах КНА (КНА № 1, 2 и 4) в течение всего полета КА ФОТОН-М № 4 существенно положение КНА на поверхности СА (см. рис. 1 и 3), так как при полете КА панели его солнечных батарей (СБ) ориентированы на Солнце (панели СБ находятся в плоскости OXZ , которая ортогональна плоскости рис. 3). Как предварительный [3], так и повторный анализ [5] полученных в ходе КЭ “МРТ” данных показал, что существенное влияние на текущее тепловое состояние КНА оказывают ориентация КА в пространстве и положение плоскости его орбиты относительно направления на Солнце. Кроме этого, на текущие значения температур также влияет расположение датчиков температуры в КНА (рис. 2). В каждом КНА датчики № 1, 2, 3, 4 и 5 располагаются на днищах КНА (датчик № 5 находится в центре днища) и экранируются платами полезной нагрузки, на которых располагаются различные НА для проведения КЭ в условиях открытого космического пространства. Датчики № 6 и 7 расположены на стенках КНА выше плат полезной нагрузки, соответственно, непосредственно над датчиками № 4 и 2 (рис. 2). Текущие температуры со всех датчиков регистрировались с дискретностью 10 с как в течение полета КА ФОТОН-М № 4, так и за трое суток до запуска и в течение семи суток после посадки СА и доставки его на завод-изготовитель КА – РКЦ “Прогресс” [3].

Проведенный анализ полученных в ходе эксперимента “МРТ” данных показал следующее:



1–7 – места расположения датчиков МРТ

Рис. 2. Схема размещения датчиков температуры НА МРТ в КНА.

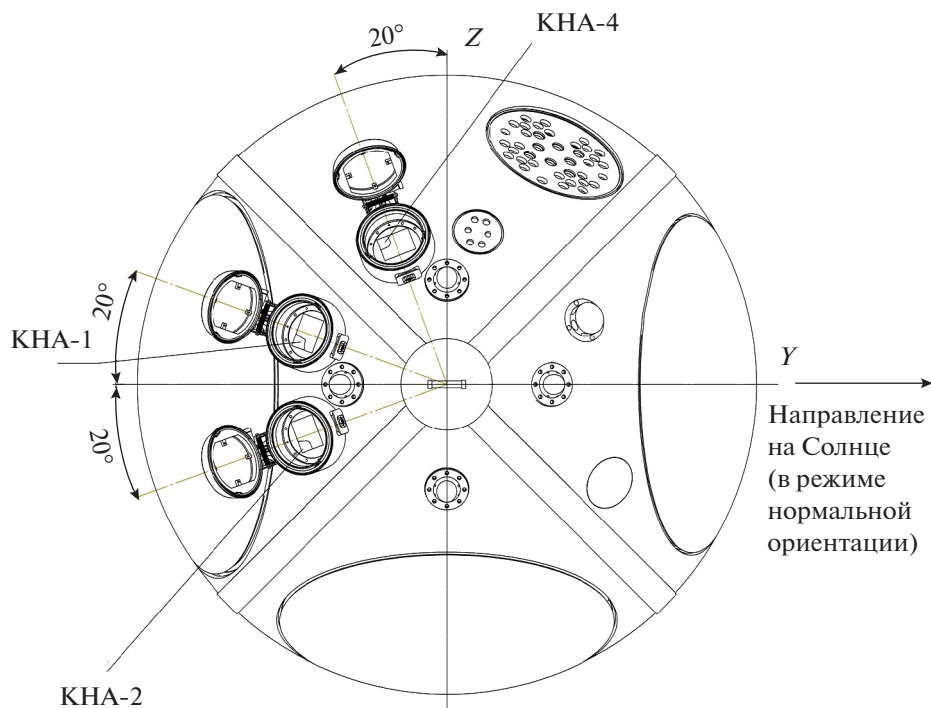


Рис. 3. Размещение КНА на спускаемом аппарате КА ФОТОН-М № 4.

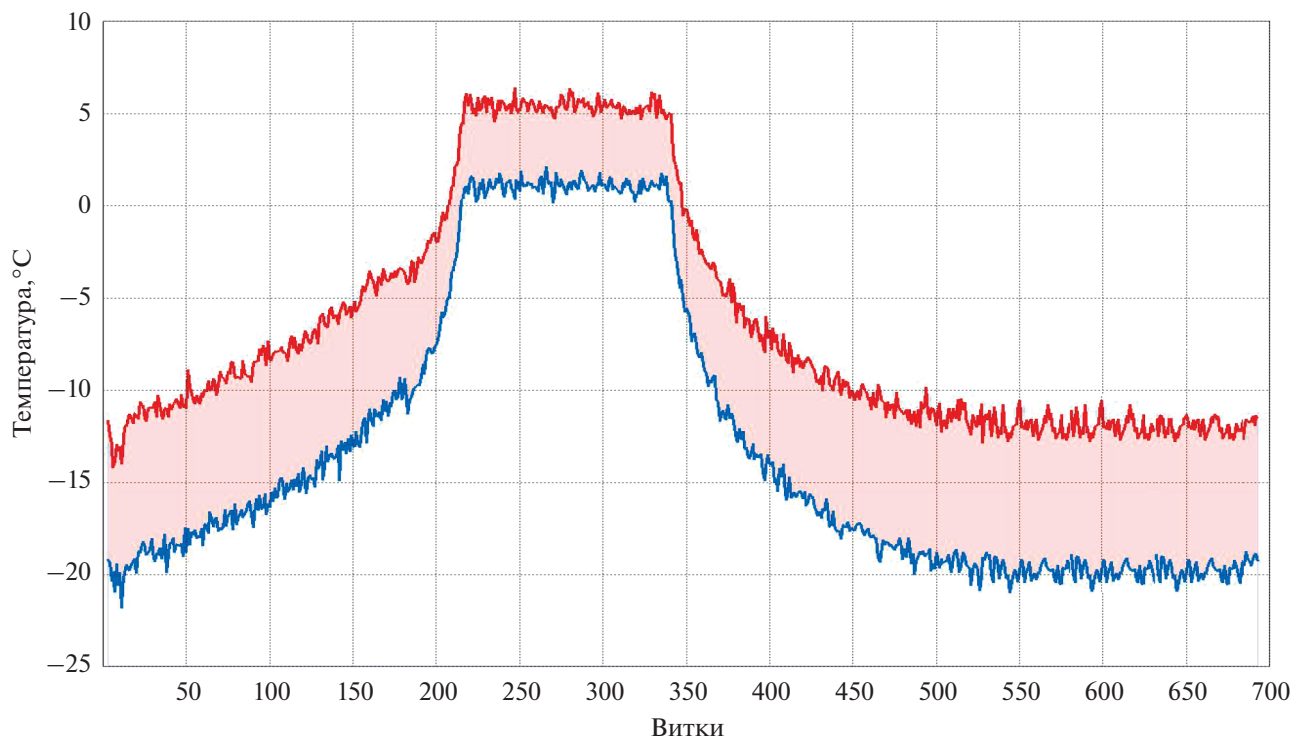


Рис. 4. Диапазоны внутривитковых колебаний температур в КНА № 1.

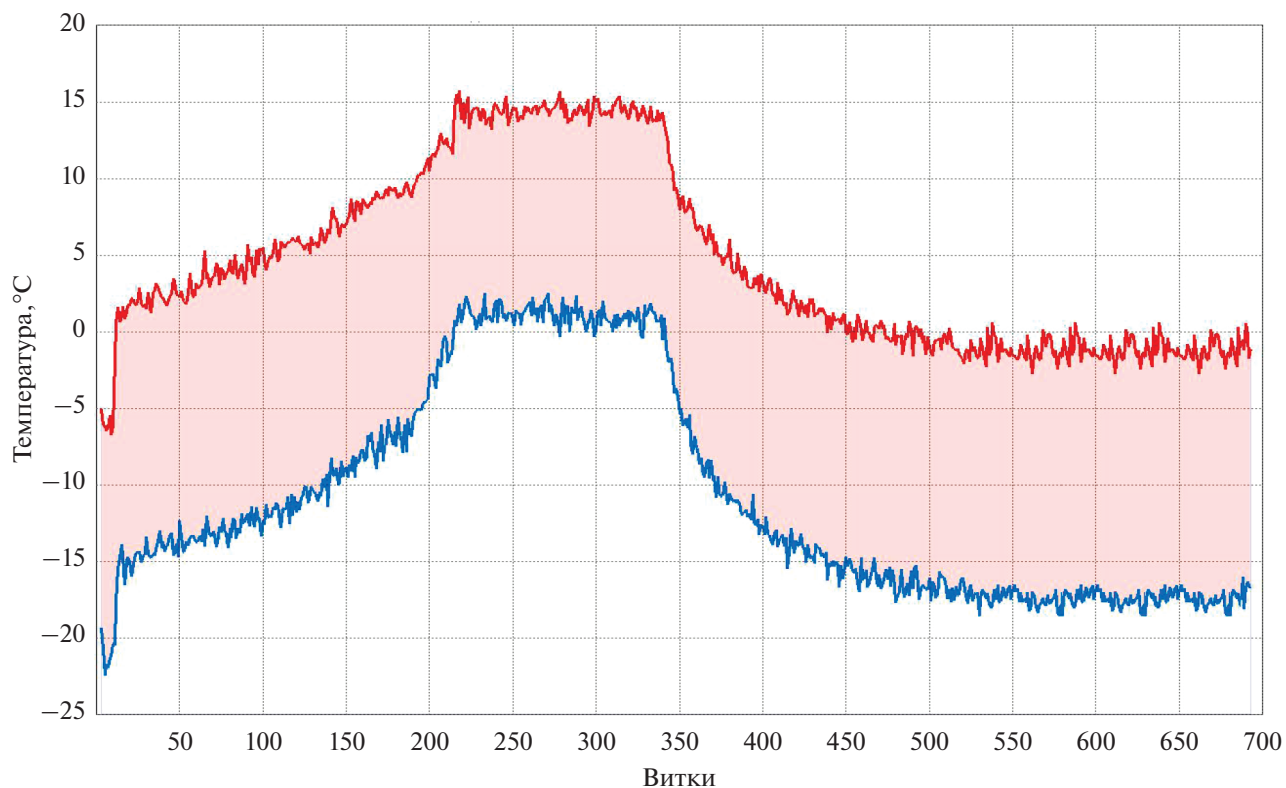


Рис. 5. Диапазоны внутривитковых колебаний температур в КНА № 4.

во-первых, характер изменения и значения текущих температур для КНА № 1 и 2 качественно и количественно существенно не отличаются друг от друга, что обусловлено местом расположения этих КНА на внешней поверхности СА; во-вторых, во временных рядах измеренных текущих температур для всех датчиков и во всех КНА можно выделить три характерных участка, а именно: 1) участок от момента старта до конца 2–3-го витков; 2) участок орбитального полета, начиная с 3–4-го витка до начала 694-го (спускового) витка; 3) участок спуска с орбиты и до приземления [3, 5].

На первом участке в начале полета ракеты-носителя текущие температуры для всех КНА поднялись на 2–4°C от начальных значений (+20°C), а затем к концу первого витка снизились практически до нулевых значений. Снижение температур (до -10°C) наблюдалось до конца второго витка. Начиная с 3–4-го витка устанавливался режим колебаний значений измеряемых температур, близкий к гармоническим колебаниям с орбитальным периодом обращения КА [3, 5]. Значения температур для КНА № 1 и 4 в течение спуска с орбиты приведены [3]. При спуске с орбиты КНА герметично закрываются крышками, тем не менее и в этом случае наблюдался высокий

градиент роста температур, но только до значений порядка 20°C; только одним датчиком в КНА № 4 было зарегистрировано максимальное значение, равное 28°C.

На орбитальном участке полета КА *ФОТОН-М № 4*, начиная с 4-го и до 694-го витка, как отмечено выше, наблюдались практически гармонические внутривитковые колебания значений температур с практически одинаковыми амплитудами для всех датчиков. Но с течением времени средние значения температур возрастали и достигали положительных значений на интервале между 200-м и 350-м витками, что обусловлено изменением за счет прецессии положения плоскости орбиты КА относительно Солнца. При этом в диапазоне витков от 220 до 340 КА *ФОТОН-М № 4* в течение всего витка не заходил в тень Земли. На рис. 4, 5 показаны зависимости для максимальных диапазонов внутривитковых изменений температур в течение всего полета КА; соответственно, для КНА № 1 — на рис. 4, для КНА № 4 — на рис. 5 [3, 5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кратко описана НА МРТ, установленная на борту КА *ФОТОН-М № 4*. Целью одноименного эксперимента с аппаратурой МРТ являлся мони-

торинг теплового состояния конструкции КНА, расположенных на внешней поверхности КА. Полученные результаты представляют практический интерес для разработки аналогичной НА для КА *БИОН-М № 2* с целью обеспечения контроля теплового состояния аппаратуры, размещаемой в КНА на внешней поверхности КА [4, 5].

Анализ полученных в течение полета КА *ФОТОН-М № 4* временных рядов для текущих температур в КНА показал, что существенными факторами, определяющими тепловой режим конструкции КНА, являются не только положение КНА на внешней поверхности КА, ориентированного в течение всего полета панелями СБ на Солнце, но и светотеневая обстановка на витках. Последнее связано с отклонением нормали плоскости орбиты КА от направления на Солнце. Данных о значениях текущих температур носят ярко выраженный колебательный (гармонический) характер с орбитальным периодом движения КА и с зависимостью средневитковых значений температур от положения плоскости орбиты КА относительно Солнца [3–5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проект “БИОСПУТНИК”. Биомедицинские эксперименты и исследования на российских космических аппаратах: [Электронный ресурс] // Новости (2014 июль, сентябрь) URL: <http://biosputnik.imbr.ru/news.html> (дата обращения 19.XII.2020).
2. *Абрашкин В.И., Курганская Л.В., Шербак А.В.* Автономная система мониторинга теплового состояния научной аппаратуры на космическом аппарате // Известия СамНЦ РАН. 2012. Т. 14. № 6. С. 240–243.
3. *Курганская Л.В.* Космический эксперимент с научной аппаратурой “МРТ” на КА *ФОТОН-М № 4* // Вестник Самарского государственного университета. Естественнаучная серия. 2014. № 10 (121). С. 140–152.
4. *Горелов Ю.Н., Курганская Л.В., Шербак А.В.* Научная аппаратура КАРБОН, МРТ и СИГМА для проведения космических экспериментов на борту космических аппаратов *БИОН-М № 1* и *ФОТОН-М № 4* // Известия СамНЦ РАН. 2016. Т. 18. № 4(6). С. 1039–1047.
5. *Горелов Ю.Н., Данилов С.Б., Курганская Л.В. и др.* Об основных результатах космического эксперимента МРТ на космическом аппарате *ФОТОН-М № 4* // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2019. Т. 26. № 2. С. 149–150.