

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ВИДИМОГО, УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО И ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ НАНОСПУТНИКА

А.М. Соловьёв

(ОАО «Российские космические системы»)

Рассмотрено использование оптических датчиков видимого, УФ- и ИК-диапазонов для ориентации российского технологического наноспутника ТНС-0 № 1. Расчёт и испытания установили, что характеристики использованных датчиков удовлетворяют условиям работы в реальном космическом полёте.

Ключевые слова: технологический наноспутник, алмазный фотоприёмник, ориентация наноспутника.

Развитие современных технологий приводит к существенному уменьшению размеров технических устройств. Разработка малых космических аппаратов (МКА) является одной из перспективных и актуальных областей космической отрасли. В ОАО «Российские космические системы» (ранее ФГУП «РНИИ КП») разработаны технологические наноспутники типа ТНС-0 и ТНС-1, имеющие массу не более 5 – 7 кг. Они предназначены для экспериментальной отработки в условиях реального космического полёта новых технологий однопунктного управления КА, приёма и передачи данных, новых технологий дистанционного зондирования Земли, новых устройств и приборов [1].

В 2005 г. был запущен первый российский наноспутник ТНС-0 № 1. Одной из задач, решаемых при этом запуске, было испытание оптических датчиков ориентации КА. Были применены широкоугольные солнечные датчики видимого и ультрафиолетового диапазонов, а также узкоугольный инфракрасный датчик горизонта (рис. 1). В качестве чувствительных элементов этих датчиков были использованы простые фотоприёмники, которые не были разработаны специально для работы в космосе.

Датчики видимого диапазона изготовлены на основе кремниевого фотодиода BRW21R (Германия). Угол зрения по уровню 0,5 составляет 100 град. На ТНС-0 № 1 было установлено три датчика такого типа.

Существует проблема распознавания видимого излучения, попадающего на широкоугольный датчик непосредственно от Солнца и отражённого от облачности Земли. Прямое солнечное излучение достаточно сильное, но распространяется от относительно небольшого видимого изображения Солнца, тогда как более слабое излучение, отражённое от Земли, собирается с большей поверхно-

сти, и может давать сопоставимый по уровню сигнал. Для решения этой проблемы был применён широкоугольный (с углом зрения 100 град по уровню 0,5) датчик УФ-диапазона.

Спектр электромагнитного излучения Солнца близок к спектру излучения абсолютно чёрного тела с температурой 6000 К. Наибольшую интенсивность непрерывный спектр имеет в области длин волн 430 – 500 нм. Большая часть энергии излучения Солнца приблизительно поровну поделена между видимой (400 – 760 нм) и инфракрасной (760 – 5000 нм) областями спектра. Около 1,5% энергии в солнечном спектре приходится на ультрафиолетовое излучение с длинами волн от 100 до 300 нм. В этом диапазоне отражение от Земли определяется озоновым слоем.

Озон имеет несколько основных полос поглощения солнечного излучения. Главная полоса поглощения озона – полоса Гартли. Она имеет максимум при длине волны в 255,2 нм. Здесь для средней толщины слоя в 0,3 см ослабление составляет 10^{40} раз, и Земля может рассматриваться как абсолютно чёрное тело. Следовательно, в этом диапазоне отмеченной проблемы распознавания излучения не существует.

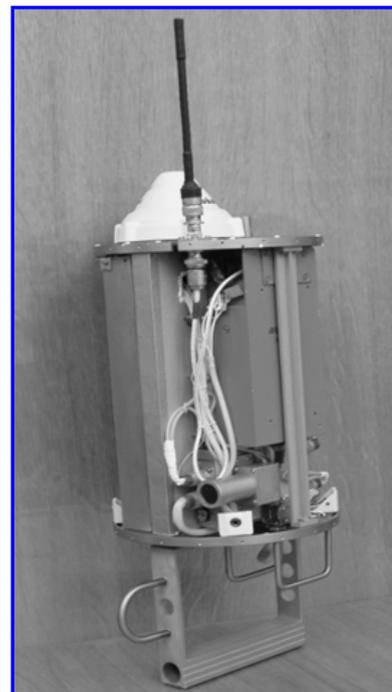


Рис. 1. Общий вид ТНС-0 № 1

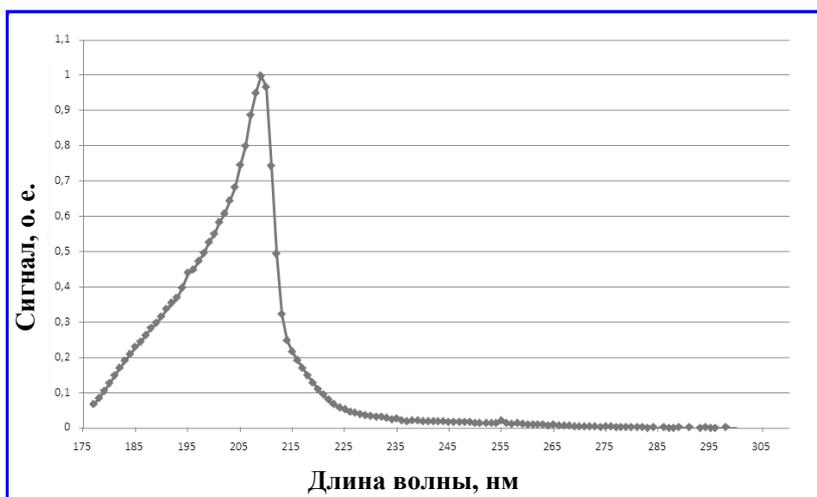


Рис. 2. Относительная спектральная характеристика чувствительности ФПЯ-1 №014

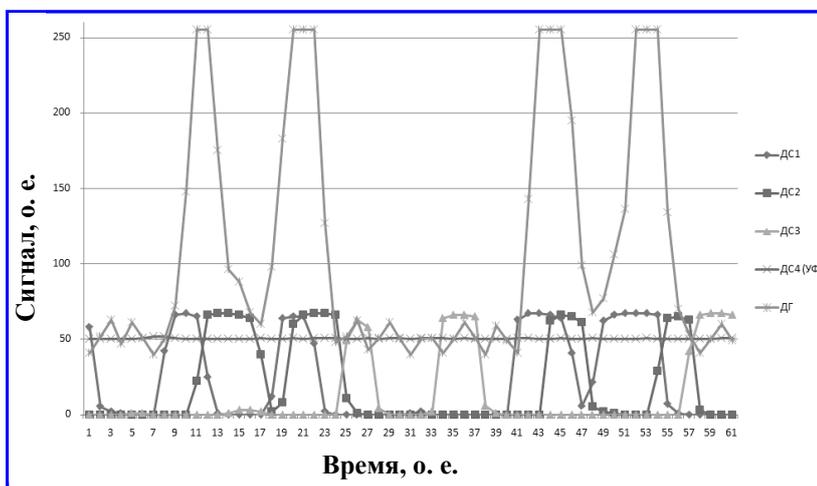


Рис. 3. Сигналы датчиков солнечной ориентации (сеанс связи от 28.03.2005)

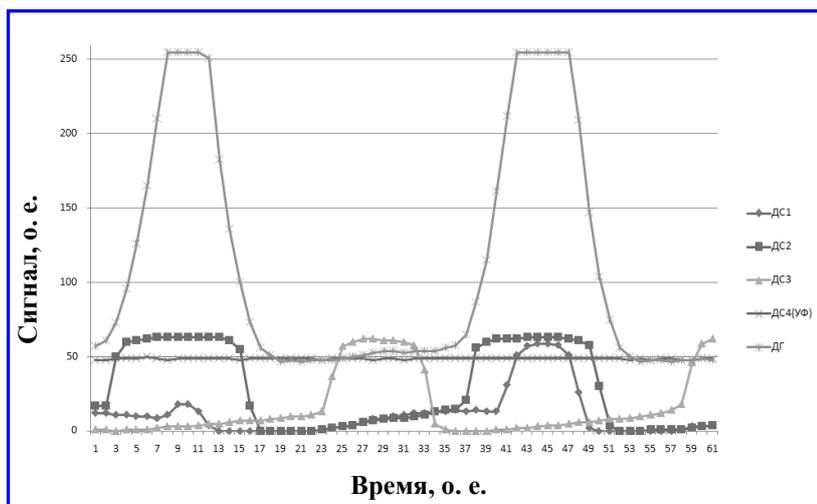


Рис. 4. Сигналы датчиков солнечной ориентации (сеанс связи от 11.04.2005)

При проектировании ТНС-0 № 1 было рассмотрено несколько вариантов фотоприёмников для УФ-датчика. В известных модифицированных кремниевых фотоприёмниках поглощение в УФ-диапазоне происходит в тонком приповерхностном слое, поэтому фототок получается относительно слабым. Кроме того, у таких фотоприёмников достаточно широкая полоса спектральной чувствительности. В связи с этим необходима установка специальных светофильтров для выделения УФ-диапазона, однако, этот вариант оказался сложным в реализации.

Решено было использовать фотоприёмник типа ФПЯ-1 на основе природного алмаза, разработанный ЗАО «УралАлмазИнвест», так как алмаз пока единственный фотополупроводник, у которого чувствительность в УФ-диапазоне на несколько порядков выше, чем в видимой и ИК-области. У традиционных фотополупроводников ситуация противоположная: чувствительность выше в видимой и ИК-области. Алмазные структуры обладают стабильностью и надёжностью [2]. Пик спектральной чувствительности ФПЯ-1 приходится на полосу Гартли поглощения ультрафиолета озона в атмосфере Земли.

Совместно с ЗАО «УралАлмазИнвест» было проведено детальное измерение спектральной чувствительности одного из имеющихся фотоприёмников ФПЯ-1 № 014. Кривая спектральной чувствительности этого фотоприёмника получена непосредственным измерением фототока на нём при облучении его от имитатора Солнца. Кривая приведена на рис. 2. Фотоприёмник, установленный на ТНС-0 № 1, был из той же партии. Было установлено, что в зависимости от количества примесей в алмазе вид кривой может меняться в области 170 – 205 нм, однако, максимум чувствительности у разных фотоприёмников менялся слабо, в пределах 208 – 212 нм.

Также характерен резкий спад в области 212 – 217 нм. Таким образом, фотоприёмник вполне подходит для распознавания излучения, попадающего на солнечные датчики. Само по себе использование алмазного фотоприёмника на КА является новым. Поведение такого фотоприёмника в составе различных устройств КА в условиях реального космического полёта представляет определённый научный и технический интерес.

Однако во время полёта ТНС-0 № 1 было установлено, что при калибровке УФ-датчика, вероятно, произошла ошибка, и сигнал от него был существенно ниже ожидаемого [3].

Были произведены дополнительные контрольные расчёты для установления работоспособности УФ-датчика.

Максимальное значение входного напряжения АЦП, установленного на спутнике, составляло 1 В. Для корректной работы АЦП необходимо, чтобы шумы по порядку величины были сопоставимы или меньше одного уровня квантования. В нашем случае использовалось 1024 уровня квантования. Соответственно шумы не должны превышать 1 мВ, а значение сигнал / шум должно быть порядка 10^3 .

Расчёт показал, что отношение сигнал / шум, исходя из характеристик УФ-датчика, равно $2,63 \cdot 10^5$, следовательно, причина слабого сигнала заключается в некорректном согласовании УФ-датчика и АЦП.

Также было оценено отношение сигнал / шум для датчиков видимого диапазона. Оно составляет $1,35 \cdot 10^7$, а для датчика горизонта – $4,68 \cdot 10^3$. Таким образом, все три типа фотоприёмников по чувствительности удовлетворяют условию работы на КА ТНС-0.

На рис. 3 приведён характерный вид сигналов с оптических датчиков в сеансе передачи от 28.03.2005. ДС1-3 – датчики видимого диапазона, ДС4 (УФ) – датчик УФ-диапазона, ДГ – датчик горизонта. Вследствие вращения ТНС-0 было получено два десятка повторяющихся сигналов от УФ-датчика. Уровень сигнала не превышал двух уровней квантования. При сложении нескольких сигналов можно было рассчитывать на получение более чёткого сигнала. Эта процедура

осложнялась тем, что спутник совершал сложные вращательные движения вокруг центра масс, и сигналы были не одинаковы по длительности. Однако обработкой выборки подходящих сигналов был получен усреднённый вид сигнала. Из рис. 5 (по оси ординат отложены единицы амплитуды сигнала, нормированные по отношению к входному напряжению АЦП в 1 В, по оси абсцисс единицы времени) видно, что он подобен сигналу с датчика ДС-1 и повторяет его двойную форму, что связано со сложным вращением ТНС-0.

Датчик горизонта на ТНС-0 № 1 изготовлен на основе неохлаждаемого фотоприёмника типа ФЭ 724 производства фирмы РЕКОНД. Спектральный диапазон чувствительности 2600 – 2400 нм, максимум спектральной чувствительности – 3300 нм. В состав датчика входит германиевая линза.

Представляла интерес качественная оценка работоспособности такого датчика, так как датчик такого же типа будет установлен на наноспутнике ТНС-1 в системе дистанционного зондирования Земли.

Угловое разрешение составило 45 угл. с при угле зрения по уровню 0,5 в 5 угл. мин.

На рис. 3 и 4 приведены сигналы от всех датчиков в сеансах связи от 25.03.2005 и 04.04.2005 соответственно. Временные интервалы одинаковые. У каждого из сигналов собственные коэффициенты усиления. Заметно, что вращение ТНС-0 № 1 замедлилось, что согласуется с моделью вращательного движения, разработанной на основе датчиков видимого диапазона [4].

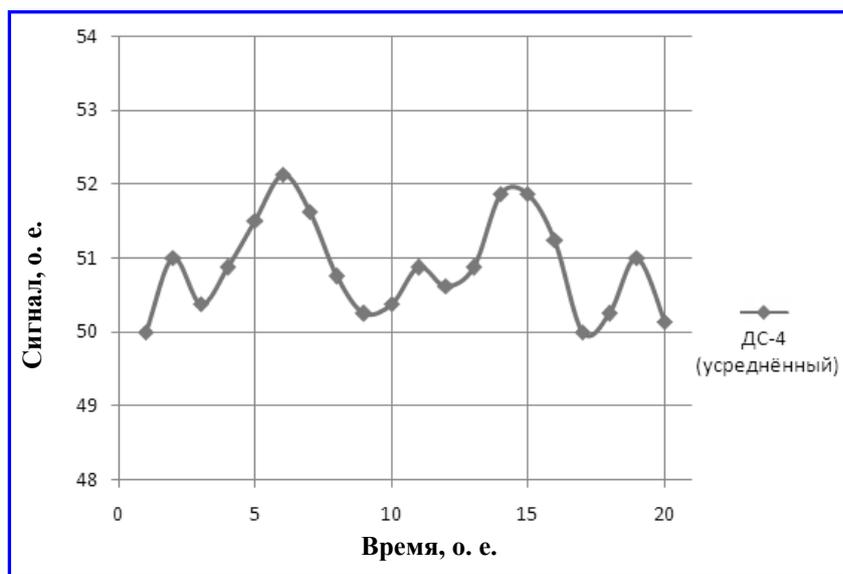


Рис. 5. Обработанный сигнал с ДС-4

Заключение

Результаты исследований солнечных датчиков трёх типов (видимого, УФ- и ИК-диапазонов) показали, что характеристики этих датчиков удовлетворяют условиям работы в реальном космическом полёте и позволяют дать оценку ориентации КА.

Уточнена модель движения ТНС-0 № 1 вокруг его центра масс [4].

Датчики такого типа будут использоваться в перспективных моделях ТНС.

Литература

1. Технологический наноспутник минимальной комплектации ТНС-0 / Ю. М. Урличич, А. С. Селиванов [и др.] // Тезисы доклада III конференции «Микротехнологии в авиации и космонавтике». – СПб. : 2004. – С. 7–8.
2. Алмаз и алмазные структуры в УФ-оптоэлектронике / М. С. Афанасьев, В. Б. Квасков // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – М. : Радиотехника, 2003. – № 2. – С. 67–74.
3. Предварительные результаты испытаний технологического наноспутника ТНС-0 / Ю. М. Урличич, А. С. Селиванов, В. М. Вишняков [и др.] // Тезисы докладов 10-й Международной конференции «Системный анализ, управление и навигация». – Крым, 2005. – С. 24–25.

Поступила в редакцию 05.04.2011

Алексей Михайлович Соловьёв, инженер, т. 8-915-179-59-08, e-mail: aoiaxe@mail.ru.