

ПРОЕКТНЫЙ ОБЛИК КОММУНИКАЦИОННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО НАНОСПУТНИКА ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ ОПТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

Одной из основных причин отказа наноспутников (НС) при выполнении миссии, является выход из строя системы связи. Также на качество выполнения целевой задачи НС влияет использование коммерческих компонентов в системах связи и повышенная шумовая обстановка на наземной станции [1]. Это подчёркивает важность разработки альтернативных методов связи. Оптические методы являются надёжным подходом к реализации спутниковой связи. Использование светодиодов на борту НС было реализовано миссии FITSAT-1 [2].

FITSAT-1 НС формата 1U, разработанный Технологическим институтом Фукуока в городе Фукуока, Япония [2]. Он был запущен с Международной космической станции 5 октября 2012 г. и находился на орбите до 4 июля 2013 г. Основная миссия FITSAT-1 заключалась в демонстрации модуля высокоскоростного передатчика, разработанного институтом. Но, помимо этого, у разработчиков была ещё одна цель: заставить наноспутник мерцать, как «искусственная звезда» [2]. Для этого в верхней части FITSAT-1 было установлено 50 зелёных светодиодов мощностью 3 Вт каждый, а в нижней части – 32 красных.

Светодиоды работали в двух режимах. Первый – азбука Морзе. Свет, наблюдаемый на земле, можно было преобразовать в электрический сигнал, а затем в аудио азбуки Морзе, если подключить его к усилителю и динамику. Второй режим был создан для регистрации слабого света, который принимался телескопом с фотоумножителем, совмещённым с параболической антенной [2]. Используя второй режим, первый искусственный свет из космоса был сфотографирован в городах Курашики, Япония, и Сеуле, Корея. Световое пятно на поверхности Земли имело форму эллипса с малым диаметром более 1000 км. Плотность мощности излучения светодиода была сравнима с небесным телом звёздной величины, приблизительно 8,5 [2]. Результаты миссии, описанные в [10], показывают, что передача видимого света из космоса на Землю прошла успешно, и демонстрируют полезность и принципиальную реализуемость оптической связи с использованием НС формата CubeSat. Предлагаемый проект НС основан на дальнейшем развитии этой идеи.

Создание НС, оснащённого светодиодами, может использоваться в качестве образовательного проекта. Так, студенты и школьники получают возможность уча-

ствия в реальном космическом проекте. Разработка такого НС создаст предпосылки получения опыта в определении требований миссии, запуска и эксплуатации. Возможно будет отправить на НС команду управления светодиодами. Свет будет виден другими наблюдателями с помощью любительских телескопов или даже невооружённым глазом. Таким образом, разные учебные заведения в разных странах смогут отправлять друг другу сообщения. Это укрепит международное сотрудничество между школами и университетами, у которых есть космические программы, и побудит их студентов заниматься деятельностью, связанной с космосом.

Анализ видимости объекта в космосе (НС, оснащённого светодиодами), основан на оценке видимой звёздной величины. Согласно современной логарифмической шкале звёздных величин, субъективное ощущение (кажущийся блеск звёзд, например) двух объектов, один из которых используется в качестве эталона, может быть рассчитано относительно их освещённостей, на основании закона Погсона (1) и его логарифмической шкалы:

$$m - m_0 = -2,51 \cdot \lg \left(\frac{E_v}{E_{v_0}} \right) \quad (1)$$

где m, m_0 – звёздные величины двух небесных тел, E_v, E_{v_0} – соответствующие этим телам освещённости, измеряемые в люксах.

Согласно Международной электротехнической комиссии, освещённость – это плотность падающего светового потока по отношению к площади в точке на поверхности [3]. Зная расстояние l от наноспутника до поверхности Земли, можно найти его освещённость с помощью силы света:

$$E_a = \frac{I}{l^2} \cdot \tau_a; \quad (2)$$

где I – сила света источника, измеряемая в канделах, l – расстояние от исследуемого объекта до поверхности Земли, в метрах, $\tau_a = 0$ – коэффициент пропускания атмосферы Земли.

Чтобы подобрать подходящий данной работе светодиод, для разных углов лучей (равных удвоенному углу половиной яркости), была рассчитана зависимость видимой звёздной величины светодиода от его светового потока, значение которого является характеристикой каждого источника света и может быть найден в документации на светодиоды. Полученные результаты представлены на рис. 1. Горизонтальная линия означает видимую звёздную величину, ниже которой объекты различимы невооружённым глазом.

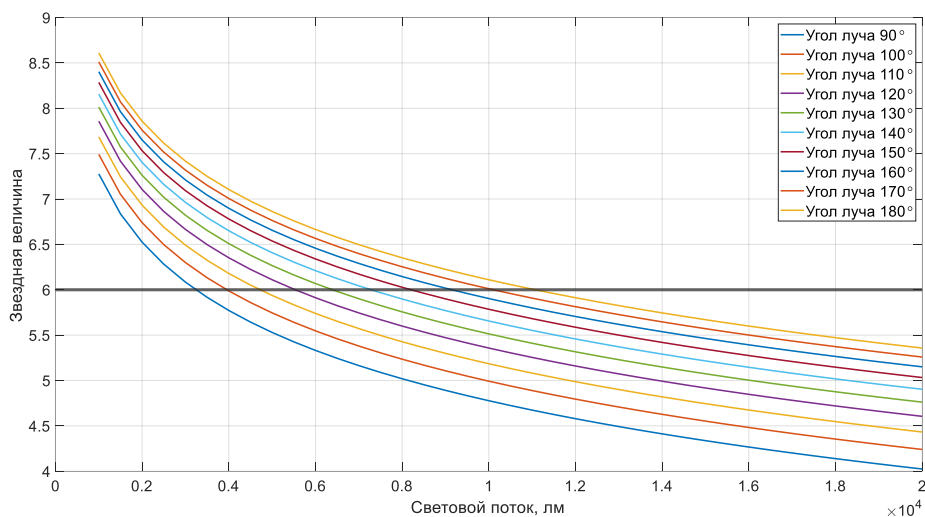


Рис. 1. Зависимость видимой звёздной величины от светового потока и углов лучей светодиода

Для НС, оснащённого светодиодами, был выбран светодиод фирмы OSRAM серии Projection Power LE CG P2AQ параметры которого представлены в [4].

Было проведено моделирование орбитального движения НС для оценки реализуемой звёздной величины по параметрам выбранного светодиода (рис. 2).

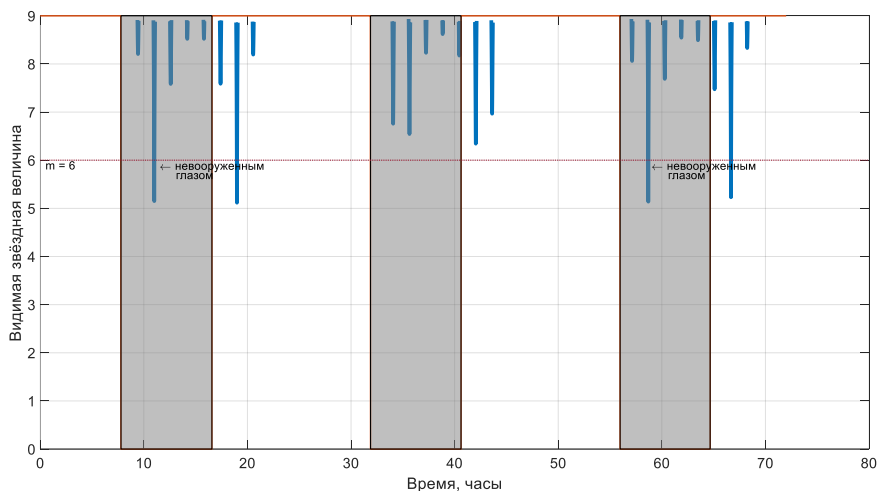


Рис. 2. Прогноз сеансов оптической связи

По результатам прогноза сеансов оптической связи, наблюдатель в городе Самара увидит НС с помощью телескопа 13 раз за трое суток и ещё в двух случаях НС можно будет наблюдать невооружённым глазом. Среднее время видимости НС невооружённым глазом составляет 2 минуты, среднее время наблюдения НС с помощью оптических средств составляет порядка 6 минут.

Основным параметром, влияющим на передачу информации азбукой Морзе, является длительность знака «точка». В проекте принято допущение, что при съёмке пролетающего НС знак «точка» должен занимать не менее 10 пикселей на матрице камеры. Исходя из этого условия для камеры разрешением 1920x1080

пикселей длительность «точки» составила порядка 0,3 с. Полученные результаты сравнивались с результатами предыдущих миссий и показали возможность реализации предлагаемого проекта.

Работа выполнена в рамках проекта 0777-2020-0018, финансируемого из средств государственного задания победителям конкурса научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России.

Библиографический список

1. Swartwout M. The First One Hundred CubeSats: A Statistical Look / M. Swartwout // Journal of small satellites. – 2014. – Vol. 2. – No. 2. – P. 213-233.

2. Tanaka T., Kawamura Y., Development and operations of nanosatellite FITSAT-1 (NIWAKA) [Text] / T. Tanaka, Y. Kawamura Y. // Acta Astronautica. – 2015. – Vol. 107. – PP. 112-129.

3. Тымкул В.М., Тымкул Л.В., Фесько Ю.А., Кудряшов К.В., Луговских С.В. Методика расчета звездной величины международной космической станции / В.М. Тымкул, Л.В. Тымкул, Ю.А. Фесько, К.В. Кудряшов, С.В. Луговских // Приборостроение. – 2013. – №5.

4. Параметры светодиода OSRAM OSTAR® Projection Power [Электронный ресурс] https://www.osram.com/ecat/OSRAM%20OSTAR%C2%AE%20Projection%20Power%20LE%20CG%20P2AQ/com/en/class_pim_web_catalog_103489/prd_pim_device_8160328/ (дата обращения: 01.06.2022).

УДК 629.783

Болтов Е.А., Хусаинов А.А.

КОНСТРУКТИВНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АНТЕННОГО КОМПЛЕКСА НАУЧНОГО НАНОСПУТНИКА ИССЛЕДОВАНИЯ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ МЕТОДОМ РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ

Изучение ионосферы Земли является важной научной задачей, в рамках которой основным интересующим физическим параметром является распределение электронной плотности по высоте и географическим координатам. Для выполнения низкоорбитальной радиотомографии (НОРТ) передатчики на борту космического аппарата излучают двухчастотные когерентные сигналы, позволяя при каждом приёме на земле вычислять групповые и фазовые задержки на трассах распространения сигнала. В этом случае спутник излучает, а наземные цепочки станций принимают два когерентных спутниковых сигнала на частотах 150 и 400 МГц и регистрируют разность фаз между ними на нескольких приёмных станци-