

УДК 629.78**УФИМЦЕВ А.В., студент (НИ ТПУ)****Научный руководитель КОЛОМЕЙЦЕВ А.А., доцент (НИ ТПУ)****г. Томск****МАЛЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЛЯ МОНИТОРИНГА
ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ
РЕСУРСОСБЕРЕЖАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Актуальность разработки малогабаритных и энергоэффективных космических аппаратов для фундаментальных научных исследований обусловлена необходимостью снижения стоимости и ресурсоемкости доступа в космическое пространство. Одной из приоритетных задач современной астрофизики является изучение гамма-всплесков – кратковременных, но экстремально мощных выбросов гамма-излучения, связанных с наиболее энергичными событиями во Вселенной, такими как коллапс массивных звезд и слияние компактных объектов. Регистрация и анализ этих явлений позволяют исследовать фундаментальные физические процессы в экстремальных условиях.

Традиционные крупногабаритные научные обсерватории, предназначенные для подобных задач, требуют значительных финансовых затрат и длительных сроков реализации. В этой связи представляет значительный интерес разработка малых космических аппаратов формата CubeSat, которые сочетают в себе малые массогабаритные показатели, относительно низкую стоимость создания и запуска, а также высокий потенциал для решения конкретных научных задач.

Целью данной работы является проектирование и виртуальное прототипирование модели малого космического аппарата CubeSat 1U, ориентированного на регистрацию гамма-всплесков и изучение параметров магнитосферы Земли. Ключевой задачей являлась оптимизация конструкции и систем аппарата с точки зрения энергопотребления, надежности и миниатюризации компонентов без ущерба для выполнения научной программы.

В рамках работы был проведен комплексный анализ требований к составу и характеристикам целевой аппаратуры. Научная полезная нагрузка включает в себя детекторы гамма-излучения на основе сцинтилляционных материалов, обеспечивающие высокую чувствительность в широком энергетическом диапазоне при минимальном энергопотреблении. Для обеспечения точной ориентации аппарата на область наблюдения и стабилизации его положения в пространстве была спроектирована система ориентации и стабилизации, включающая гироскопы, магнитометры и маховики.

Энергетическая система аппарата базируется на высокоэффективных трехкаскадных арсенид-галлиевых солнечных панелях, размещенных на внешних гранях корпуса, и литий-ионных аккумуляторах, обеспечивающих непрерывную работу систем в периоды нахождения в тени Земли. Для передачи

телеметрической и научной информации на наземные пункты приема была выбрана компактная всенаправленная антенная система, работающая в S-диапазоне, что позволяет поддерживать устойчивую связь независимо от ориентации аппарата.

Аппаратное обеспечение разработанного МКА включает: летательный модуль (бортовой компьютер), материнскую плату, блок питания на литий-ионных аккумуляторах, датчик угловой скорости, модуль GPS, плату бортовой коммуникации S-диапазона и целевую научную аппаратуру. Все компоненты размещены на трех печатных платах внутри каркаса стандарта CubeSat 1U ($10 \times 10 \times 11,35$ см) (рис. 1).

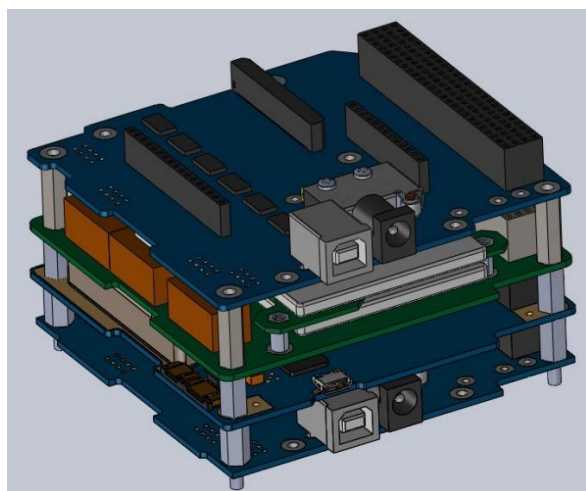


Рисунок 1. Спроектированные печатные платы с основным аппаратным обеспечением МКА

Для их крепления и снижения вибрационных нагрузок использовано технологическое решение в виде угловых подставок с отверстиями под винтовое соединение, что позволило оптимизировать массу конструкции и повысить ее надежность (рис. 2).

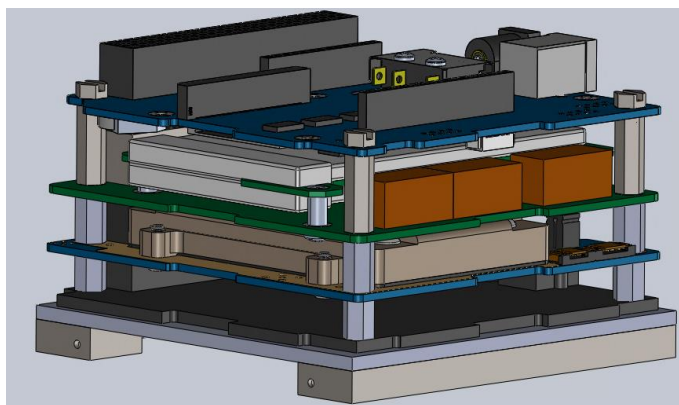


Рисунок 2. Технологическое решение (подставка) для снижения массы и вибрационной нагрузки

Особое внимание было уделено проектированию механической конструкции и анализу ее прочности. С использованием методов компьютерного

инженерного анализа (FEA-анализ) проведен статический расчет на прочность по критерию Вон Мизеса и модульный анализ для определения собственных частот колебаний конструкции. Расчеты подтвердили, что оптимизированная конструкция из алюминиевого сплава способна выдерживать экстремальные нагрузки до 4100 Н, что многократно превышает ожидаемые перегрузки при выведении на орбиту ракетой-носителем (рис. 3).

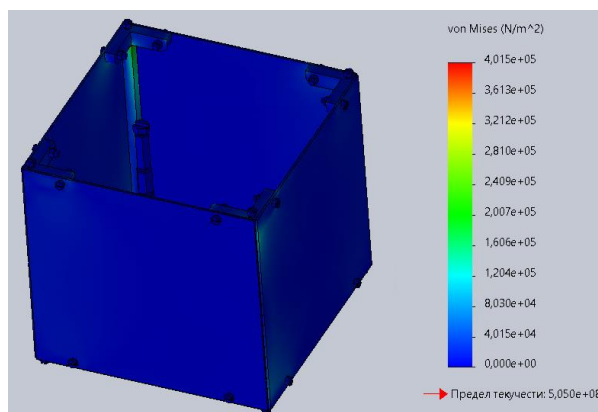


Рисунок 3. Анализ напряжений в элементе конструкции по критерию Вон Мизеса

Для передачи данных был смоделирован процесс модуляции информационного сигнала. Рассмотрены схемы амплитудной манипуляции (АМ). В ходе моделирования был проведен анализ АМ-сигнала при различных коэффициентах модуляции ($M = 0; 0,5; 1; 1,5$), что представлено на рис. 4–6. По результатам анализа установлено, что значение $M=0,5$ является оптимальным, обеспечивая надежную и помехоустойчивую передачу данных с орбиты при минимальных искажениях и максимальном КПД. Были разработаны и протестированы программные функции для формирования манипулированных сигналов, что подтвердило возможность реализации эффективной системы связи в рамках ограничений малого космического аппарата.

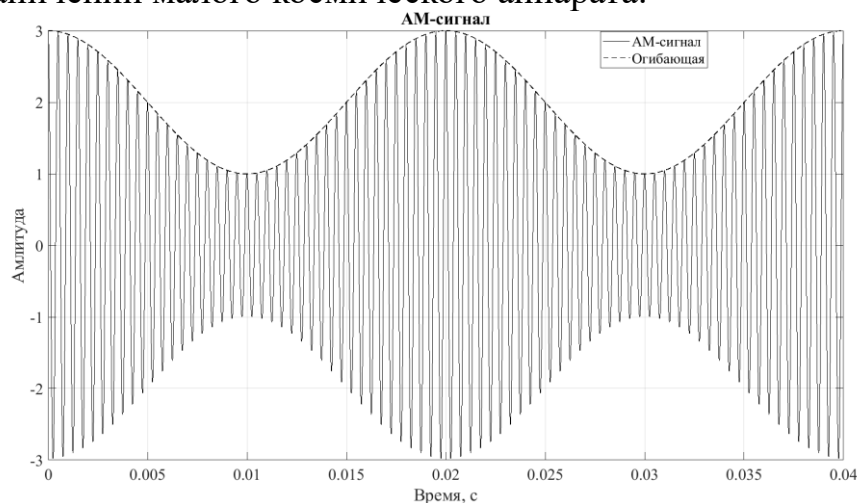
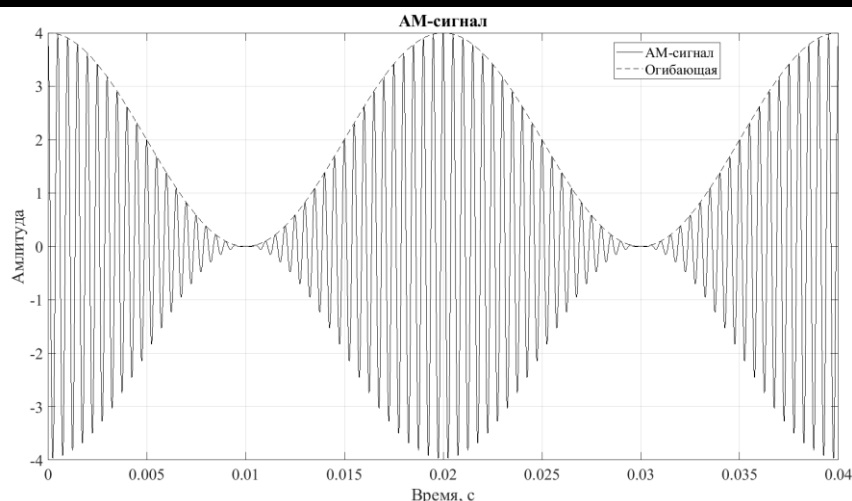
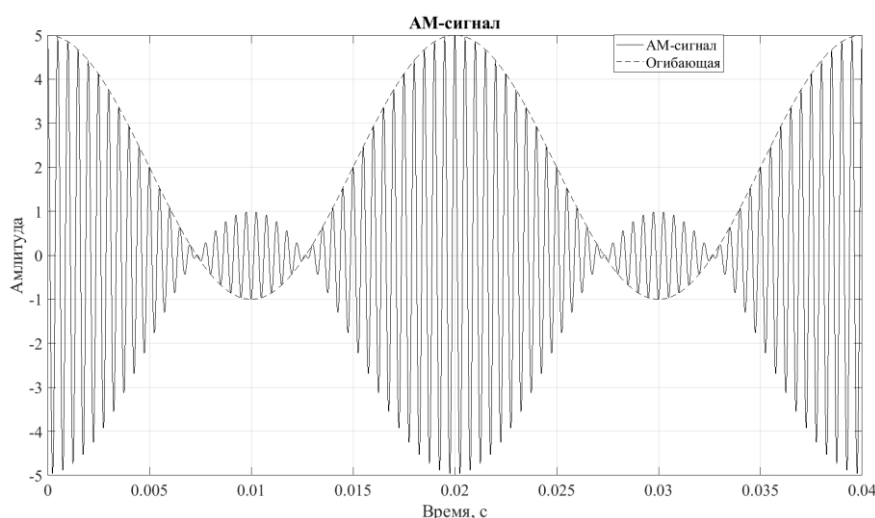


Рисунок 4. Временная диаграмма АМ-сигнала при $M = 0,5$

Рисунок 5. Временная диаграмма АМ-сигнала при $M = 1$ Рисунок 6. Временная диаграмма АМ-сигнала при $M = 1,5$

В результате работы была разработана комплексная трехмерная модель малого космического аппарата, готовая к последующему изготовлению и испытаниям. Предложенные технические решения демонстрируют возможность создания эффективного инструмента для астрофизических исследований на платформе CubeSat, что вносит значительный вклад в развитие ресурсосберегающих технологий в космической отрасли.

Дальнейшие исследования предполагают изготовление опытного образца, проведение наземных испытаний и отработку технологии проведения научных измерений.

Список литературы:

1. Булгаков, А. В. Малые космические аппараты: принципы проектирования и применения. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. – 320 с.
2. Глухов, А.А., Каширин, В.В. Основы проектирования малых космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 2018. – 248 с.
3. Колотилов, А. Н. Малые космические аппараты: учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – 320 с.

4. Барт, Э., Эванс, П. Р. Недорогой детектор гамма-всплесков на платформе CubeSat // *Acta Astronautica*. – 2017. – Т. 130. – С. 202-210.
5. Егоров, М. П., Сергеев, А. С. Методы моделирования распространения радиоволн в условиях космического пространства // *Космические исследования*. – 2021. – Т. 59, № 3. – С. 201-215.
6. Уфимцев А.В. Разработка и проектирование модели малого космического аппарата CUBESAT // *Сборник трудов XXIII научно-технической конференции молодых ученых ПАО «РКК Энергия»*. – Королёв, 2024. – С. 348–350.