

## Разработка оптической ячейки сбора и обработки видеoinформации для дистанционного зондирования Земли

*А.А. Радина, О.А. Сомов*

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Зеленоград, Москва*

**Аннотация:** Малые космические аппараты, включая спутники формата CubeSat, стали популярными благодаря тенденции на ускорение, удешевление разработки и производства и упрощение использования аппаратуры космического назначения. Основной проблемой конструирования CubeSat является их миниатюризация. В настоящей статье представлены результаты разработки оптической ячейки сбора и обработки видеoinформации для систем дистанционного зондирования Земли спутника формата CubeSat 3U, направленной на получение максимально возможных характеристик изображения при имеющихся ограничениях массогабаритных показателей малых космических аппаратов.

**Ключевые слова:** аппаратура космического назначения, дистанционное зондирование Земли, малый космический аппарат, наноспутник, печатная плата, тенденция развития малых спутников, топология печатной платы, CubeSat.

### Введение

CubeSat – это небольшой космический аппарат (КА) или наноспутник, который обычно имеет размер 10x10x10 см и массу менее 1,33 кг. CubeSats обычно запускаются на низкую околоземную орбиту и могут выполнять различные научные эксперименты, например, по изучению атмосферы, экологии и климата Земли, исследованию Солнечной системы, наблюдению за поверхностью планеты (дистанционное зондирование), съёмки из космоса районов паводков и лесных пожаров, а также других чрезвычайных ситуаций [1, 2].

Малые космические аппараты (МКА) формата CubeSat доставляются на орбиту с помощью ракет-носителей, на борту других космических аппаратов или в качестве попутного груза [3]. Пример внешнего вида МКА формата CubeSat 3U представлен на рисунке 1.

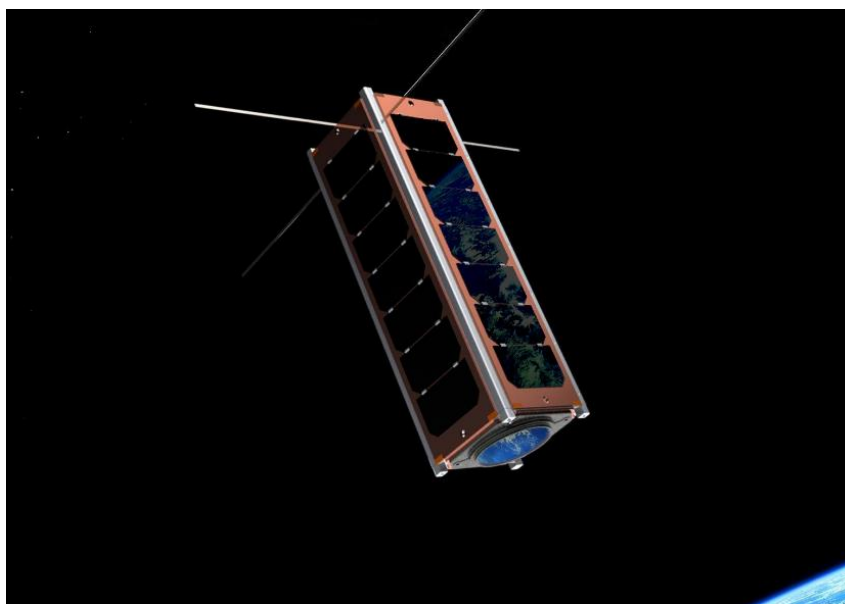


Рис. 1. – Пример внешнего вида CubeSat 3U [4]

CubeSat имеют ряд преимуществ: простота конструкции, малые сроки проектирования и производства (в отличие от полноразмерных КА, срок разработки которых занимает от 5 до 10 лет), снижение затрат на разработку. Несомненно, разработка МКА способствует развитию тенденции на удешевление, упрощение использования и вывода на орбиту космической аппаратуры [2]. К основным недостаткам CubeSat относится малая функциональность и диапазон возможных задач из-за размеров и массы, а также короткий срок службы, который обычно составляет от шести месяцев до двух лет, что значительно меньше, чем у полноразмерных КА, работающих от двух до десяти лет.

В последнее десятилетие стали востребованными разработка, производство и эксплуатация МКА, поскольку они являются недорогим и эффективным способом исследования космоса. Их использование позволяет проводить научные эксперименты и изучать новые технологии, а также способствует популяризации космических исследований. Кроме того, CubeSats могут использоваться для образовательных целей, чтобы привлечь больше людей к изучению космоса [2]. На рисунке 2 представлена

статистика по количеству запусков наноспутников по размерам и типам (зеленым цветом выделено количество запущенных спутников, синим – не запущенных). Самые популярные типы спутников стали CubeSat формата 3U.

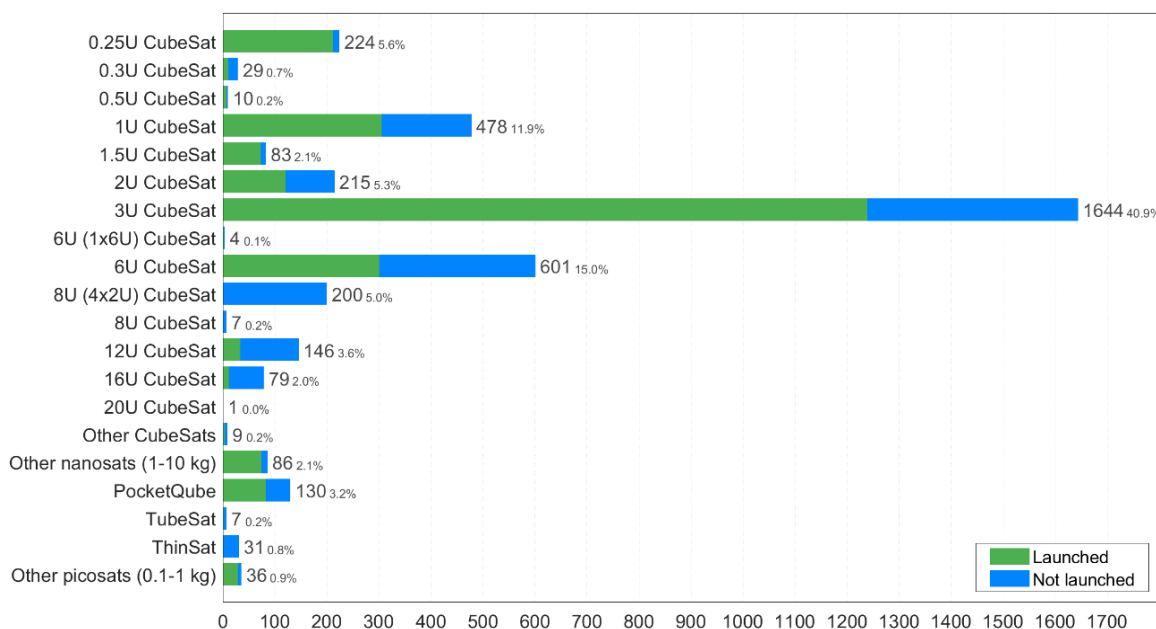


Рис. 2. – Статистика по количеству запусков наноспутников по размерам и типам [5]

CubeSat может разработать широкий круг специалистов: университеты, крупные компании, частные и радиолобительские организации. Например, частная российская компания «Спутникс» сотрудничает с МГУ им. М.В. Ломоносова, образовательным центром «Сириус», МИЭМ и НИИЯФ, проводя с 2016 года космический эксперимент «Школьный спутник», цель которого – наблюдение поверхности Земли с международной космической станции (МКС). В августе 2018 года с МКС были запущены научно-образовательные спутники «СириусСат-1» и «СириусСат-2». Спутники созданы на основе наноспутниковой платформы «ОрбиКрафт-Про». Эта платформа соответствует международному стандарту CubeSat размером 1U [6]. Масса каждого аппарата составляет 1,45 кг.

В Дании компания «Gomspace» разработала и запустила 2 спутника CubeSat «GOMX-4» формата 6U – «GOMX-4A» и «GOMX-4B». Одной из

основных задач спутников было измерение уровня космической радиации, создаваемой солнечным ветром. Спутники были запущены 2 февраля 2018 года, и их миссия была успешно завершена в декабре того же года [7].

Также университет Финляндии «Aalto» разрабатывает спутники CubeSat для разных целей. В 2018 году запущен CubeSat «Suomi 100» формата 1U. Цель – изучение космической погоды вблизи Земли, особенно полярных сияний. К сожалению, связь со спутником потеряна в 2019 году. В 2018 году запущен ещё один CubeSat «CubeSpec» формата 6U для исследования физики звёзд с системой точного наведения и стабилизации [8].

### **Разработка оптической ячейки сбора и обработки видеоинформации для ДЗЗ**

В настоящей работе рассматривается разработка оптической ячейки сбора и обработки видеоинформации для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с целью получения максимально возможного качества изображения, учитывая строгие массогабаритные ограничения спутника формата CubeSat 3U. В процессе проектирования в основном используется комплексная система автоматизированного проектирования (САПР) Altium Designer. Это современный мощный инструмент для разработки и проектирования печатных плат, который охватывает весь жизненный цикл создания изделия, начиная с этапа схемотехнического моделирования и заканчивая синтезом топологической карты и трёхмерной модели готовой продукции [9].

На начальных этапах проектирования разрабатывается структурная схема, которая определяет основные функциональные блоки изделия, их функции и взаимосвязи между ними, а также проводится проработка общего конструктивного решения, определяется назначение и режимы использования внешних выводов. Кроме того, при создании структурной схемы следует разделять аналоговые и цифровые компоненты для

обеспечения их независимой отладки, в том числе разделение цепей «земли» и «питания» на аналоговую и цифровую [10].

Структурная схема оптической ячейки сбора и обработки видеоинформации представлена на рисунке 3. Далее происходит разработка схемы электрической принципиальной и топологии печатной платы (ПП). Учитывая массогабаритные и конструктивные ограничения МКА стандарта CubeSat, было принято решение о размещении всего основного функционала устройства на одной ПП.

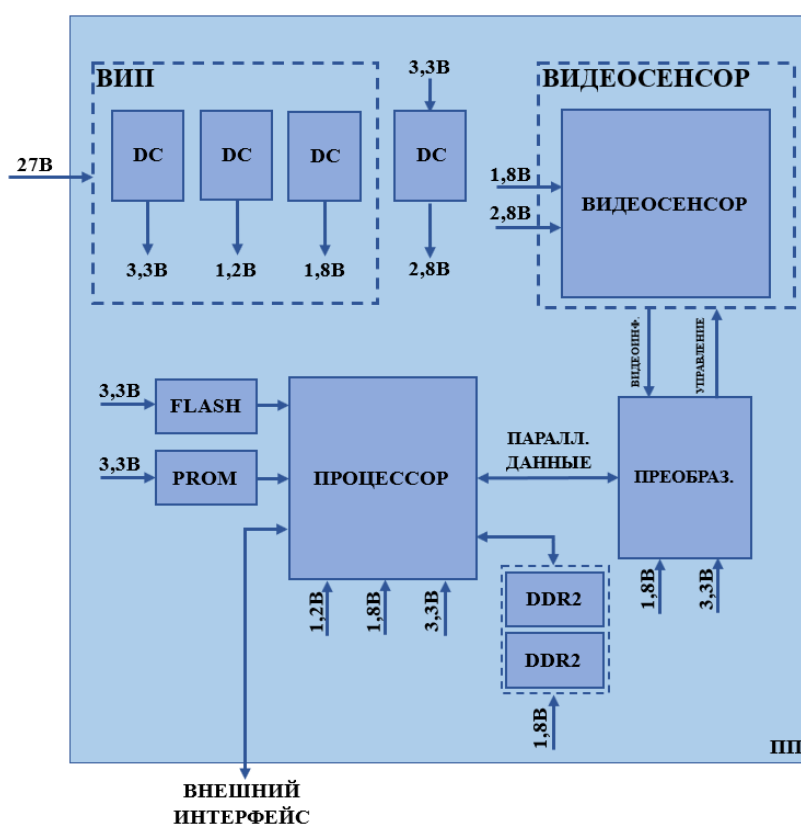


Рис. 3. – Структурная схема оптической ячейки сбора и обработки видеоинформации

В процессе работы устройства на функциональный узел ВИП (вторичный источник питания) приходит напряжение 27 В с бортовой цепи. В узле ВИП происходит формирование напряжений питания для всего блока. При включении процессор загружает программу из программируемой постоянной памяти (PROM). Оперативная память DDR во время работы

устройства хранит выполняемый машинный код, а также входные, выходные и промежуточные данные, обрабатываемые процессором. Для конвертации из параллельного кода видеоинтерфейса процессора в интерфейс, необходимый для работы с видеосенсором (HiSPI), необходим преобразователь интерфейсов.

Видеосенсор управляется с помощью интерфейса SPI – Serial Peripheral Interface (используется для управления временем накопления заряда в пикселе и частотой кадров, а также другими режимами работы). В свою очередь видеосенсор передает видеоинформацию в процессор, который ее обрабатывает, согласно заложенной программе или командам, поступающим по внешнему интерфейсу, и сохраняет полученные обработанные файлы в микросхему (МС) FLASH. Внешний интерфейс может как отдавать команды, так и получать обработанные файлы.

После разработки схемы электрической принципиальной следует этап топологического проектирования. На данном этапе происходит отрисовка топологического посадочного места для каждого элемента платы, а также его 3D-моделей, создается библиотека компонентов, далее компоненты размещаются на плате оптимальным образом и трассируются в соответствии с правилами проектирования. На данном шаге учитываются размеры компонента, размеры вскрытия маски под площадку в топологии, и другие технологические особенности. Таким образом в САПР Altium Designer была разработана топология и 3D-модель оптической ячейки сбора и обработки видеоинформации, которые представлены на рисунках 4 и 5, соответственно. Размер ПП: 90x90 мм, толщина ПП: 1,9 мм, количество слоёв ПП: 10 шт., класс точности: 5 класс точности, высота ячейки: 20 мм, вес ячейки: 110 г.

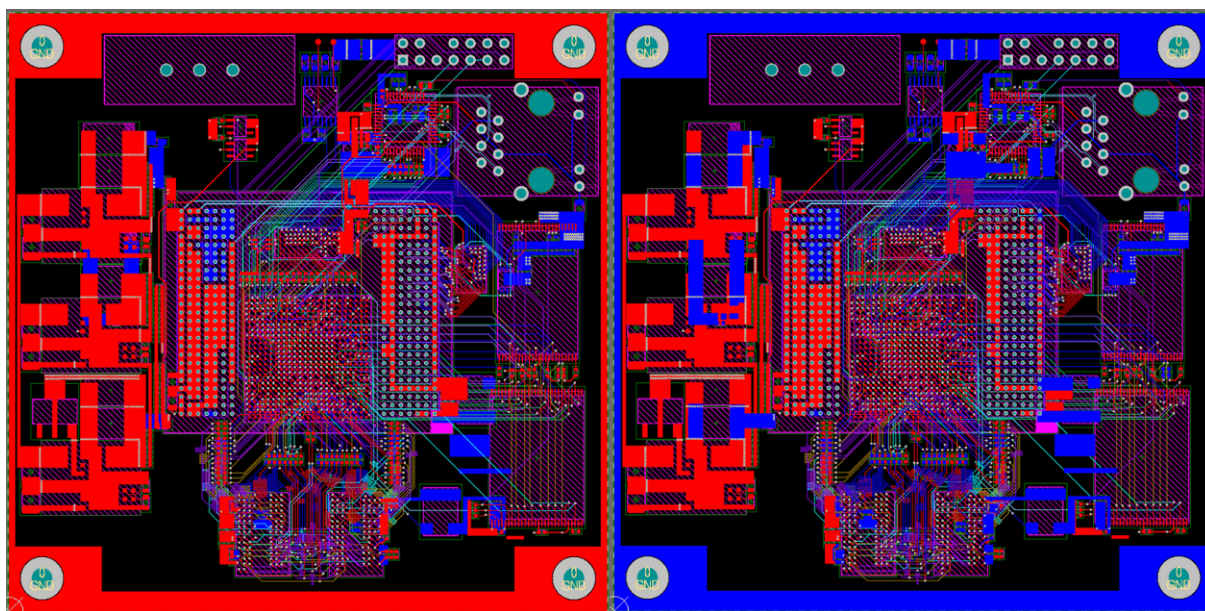


Рис. 4. – Топология оптической ячейки сбора и обработки видеoinформации (слои Top и Bottom соответственно)

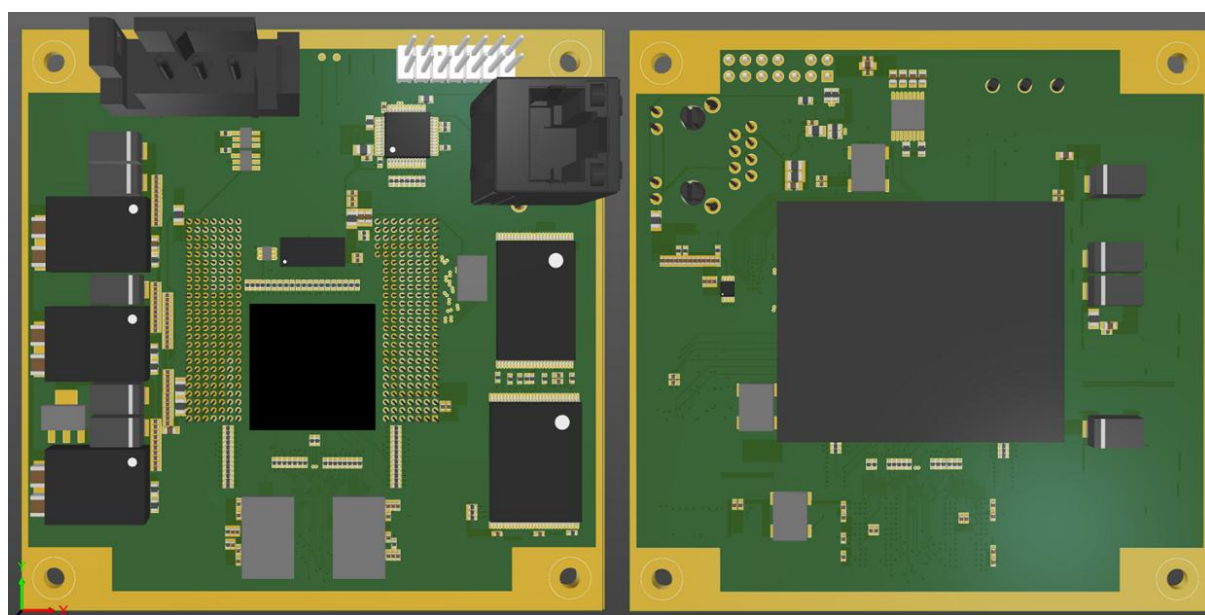


Рис. 5. – 3D-модель оптической ячейки сбора и обработки видеoinформации (Тор и Bottom соответственно)

Далее в САПР Creo Parametric была разработана конструкция корпуса для ячейки сбора и обработки видеoinформации в схематичном варианте (рисунок 6). Creo Parametric предлагает самый надежный, масштабируемый набор инструментов для трёхмерного проектирования изделий, который

гарантирует эффективность, гибкость и скорость для оптимизации процесса разработки продуктов. Данное программное средство позволяет быстро создавать высококачественные и точные цифровые модели, а также обеспечивает полную ассоциативность данных, гарантируя обновление рабочей документации при внесении изменений в изделие. Габаритные размеры конструкции корпуса оптической ячейки сбора и обработки видеоинформации, разработанного по формату МКА CubeSat 3U: 100x100x340,5 мм.

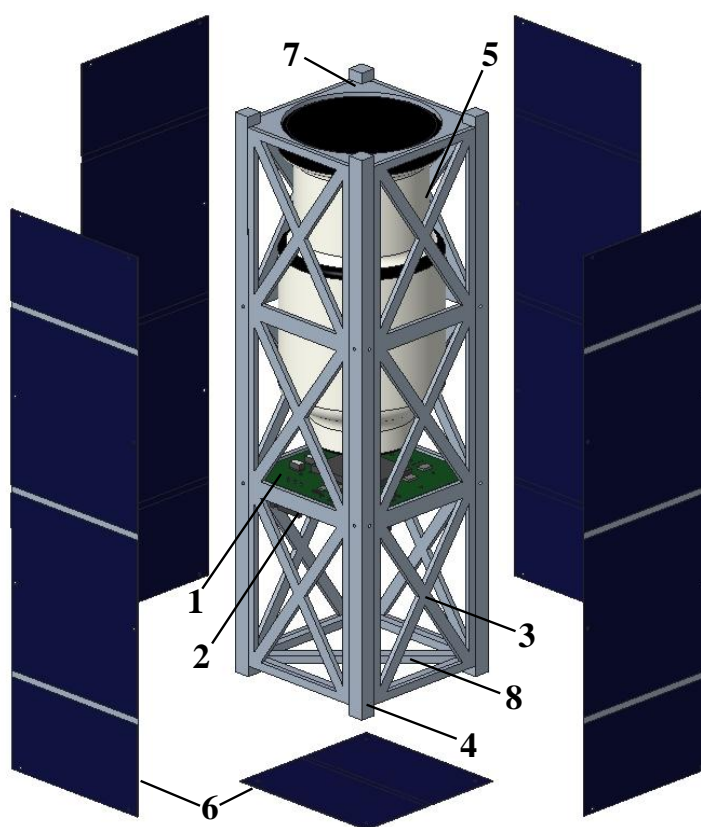


Рис. 6. – Конструкция корпуса ячейки сбора и обработки видеоинформации, где: 1 – ячейка сбора и обработки видеоинформации; 2 – рамка, на которую установлена ячейка, 3 – стенка; 4 – стойка; 5 – объектив; 6 – солнечные панели; 7 – верхняя стенка; 8 – нижняя стенка.



## Заключение

Таким образом в данной статье была описана разработка оптическая ячейка сбора и обработки видеoinформации для дистанционного зондирования Земли. Рассмотрены все основные этапы проектирования такие, как разработка структурной схемы, схемы электрической принципиальной, топологии и 3D-модели, а также предполагаемый вариант конструкции корпуса для ячейки. Оптическая ячейка сбора и обработки видеoinформации имеет размер 90x90 мм, высоту 20 мм и вес 110 г, что не противоречит конструктивным особенностям спутника формата CubeSat 3U, габаритные размеры которого 100x100x340,5 мм. Печатная плата имеет толщину 1,9 мм, количество слоёв коммутации: 10 шт., класс точности согласно ГОСТ Р 53429-2009: 5 класс точности.

## Литература

1. Гермак О.В. Использование данных дистанционного зондирования для экологического мониторинга опустынивания // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2167](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2167).
2. Радина А.А. Анализ и выбор оптических компонентов для ячейки сбора и обработки видеoinформации спутника CubeSat // Интеллектуальные системы и микросистемная техника: сборник трудов научно-практической конференции, пос. Эльбрус, 01–07 февраля 2023 года. – Москва: Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», 2023. С. 231-242.
3. Прокопьев В.Ю., Кусь О.Н., Оссовский А.В. Малые космические аппараты стандарта CubeSat. Современные средства выведения // Векторы благополучия: экономика и социум, 2014, №2 (12). С. 71-80. URL: [jwt.su/journal/article/view/585](http://jwt.su/journal/article/view/585).

4. Shoebox-size craft could put Australia in space // UNSW. URL: [unsw.edu.au/news/2012/06/shoebox-size-craft-could-put-australia-in-space](http://unsw.edu.au/news/2012/06/shoebox-size-craft-could-put-australia-in-space).
5. World's largest database of nanosatellites, over 4000 nanosats and CubeSats // Nanosats Database. URL: [www.nanosats.eu/](http://www.nanosats.eu/).
6. Казачкова И.А. Частная космонавтика как источник инновационных решений / И. А. Казачкова // Экономика и инновации: Материалы научно-практической конференции, Москва, 11 ноября 2020 года. Москва: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2020. С. 30-33.
7. Holst R., Nielsen J., Gerhardt D., Ahumada J.A.G. Attitude and orbit control results of the GOMX-4 tandem cubesat mission / Holst R., Nielsen J., Gerhardt D., Ahumada J.A.G. // Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC. Bremen, 2018. pp. 12.
8. Kallio E., Harri A.M., Knuuttila O., Jarvinen R., Kauristie K., Kestilä A., Kivekäs J., Koskimaa P., Lukkari J.M., Partamies N., Rynö J., Syrjäsuo M. Auroral Imaging With Combined Suomi 100 Nanosatellite and Ground-Based Observations: A Case Study // Journal of Geophysical Research: Space Physics. 2022. Vol. 128, No. 5. pp. 17.
9. Рязанова А.Е., Кузнецова В.Ю. Применение Altium Designer для проектирования печатных плат // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2018. №21. С. 373-376.
10. Балашов В.В., Плехов А.С., Попов Д.В., Старостин Н.В. Практическое применение собственной программной системы синтеза топологии в сквозном маршруте проектирования // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2440](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2440).

### References

1. Germak O.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2167](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2167).

2. Radina A.A. Intellektual'nyye sistemy i mikrosistemnaya tekhnika: sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii, pos. El'brus, 01–07 fevralya 2023 goda. Moskva, 2023, pp. 231-242.
3. Prokop'yev V.YU. Kus' O.N., Ossovskiy A.V. Vektory blagopoluchiya: ekonomika i sotsium, 2014, №2 (12). pp. 71-80. URL: [jwt.su/journal/article/view/585](http://jwt.su/journal/article/view/585).
4. Shoebox-size craft could put Australia in space. UNSW. URL: [unsw.edu.au/news/2012/06/shoebox-size-craft-could-put-australia-in-space](http://unsw.edu.au/news/2012/06/shoebox-size-craft-could-put-australia-in-space).
5. World's largest database of nanosatellites, over 4000 nanosats and CubeSats. Nanosats Database. URL: [nanosats.eu/](http://nanosats.eu/).
6. Kazachkova I.A. Ekonomika i innovatsii: Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Moskva, 11 noyabrya 2020 goda. Moskva, 2020, pp. 30-33.
7. Holst R., Nielsen J., Gerhardt D., Ahumada J.A.G. Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC. Bremen, 2018. pp. 12.
8. Kallio E., Harri A.M., Knuuttila O., Jarvinen R., Kauristie K., Kestilä A., Kivekäs J., Koskimaa P., Lukkari J.M., Partamies N., Rynö J., Syrjäsuo M. Journal of Geophysical Research: Space Physics. 2022. Vol. 128, No. 5. pp. 17.
9. Ryazanova A.E., Kuznetsova V.YU. Novyye informatsionnyye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh. 2018. №21. pp. 373-376.
10. Balashov V.V., Plekhov A.S., Popov D.V., Starostin N.V. Inzhenernyy vestnik Dona, 2014, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2440](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2440).

**Дата поступления: 20.04.2024**

**Дата публикации: 28.05.2024**