



Семейство малогабаритных видеокамер космической квалификации для применения в бортовой аппаратуре космических аппаратов ДЗЗ

18 ноября 2021 г, Москва
Докладчик: Королев А.В.

3D PLUS – частная компания, основанная в 1995 г.

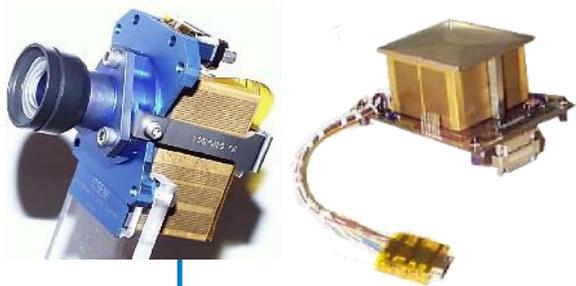
- Штаб-квартира в г. Бюк, Франция
- Рынки – Европа (включая Россию) – 36%,
Азиатско-Тихоокеанский регион – 37%, Северная Америка – 27%.
- Продукция – от серийных электронных модулей до готовых комплексных решений для космической, авиационной и медицинской отраслей
- Производственные мощности – до 750 модулей в неделю; за 2020 год поставлено заказчикам 34 000 модулей космического уровня качества
- Сертификация ESA и CNES
- ITAR, EAR Free
- Отсутствие радиационностойких аналогов изделий 3D PLUS у отечественных производителей



Штаб-квартира
Бюк, Франция

Историческое наследие видеокамер компании 3D PLUS

SMART-1, Moon Mission, ESA
MARS EXPRESS, Mars Mission, ESA



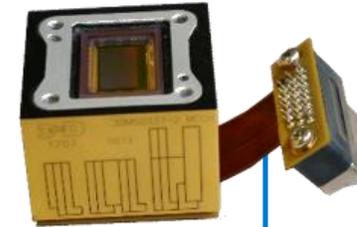
PROBA 2,
Earth Observation, ESA



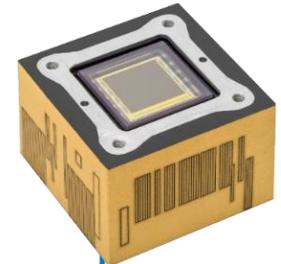
MSL / CURIOSITY,
Mars mission, NASA



OneWeb,
constellation, USA



MARS 2020 /
PERSEVERANCE,
NASA



2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020

ROSETTA / PHILAE,
Deep space mission, ESA



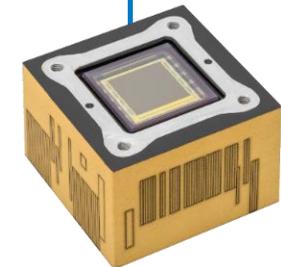
CAMISRA,
Science Camera, ISRO



SENTINEL 1A,
GMES, ESA

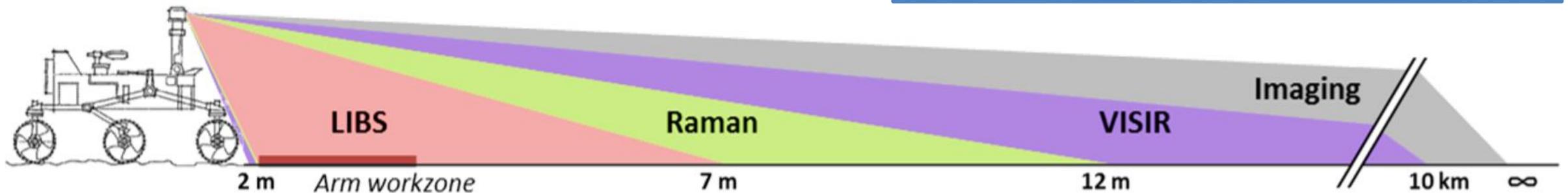


EYESAT,
CubeSat, CNES



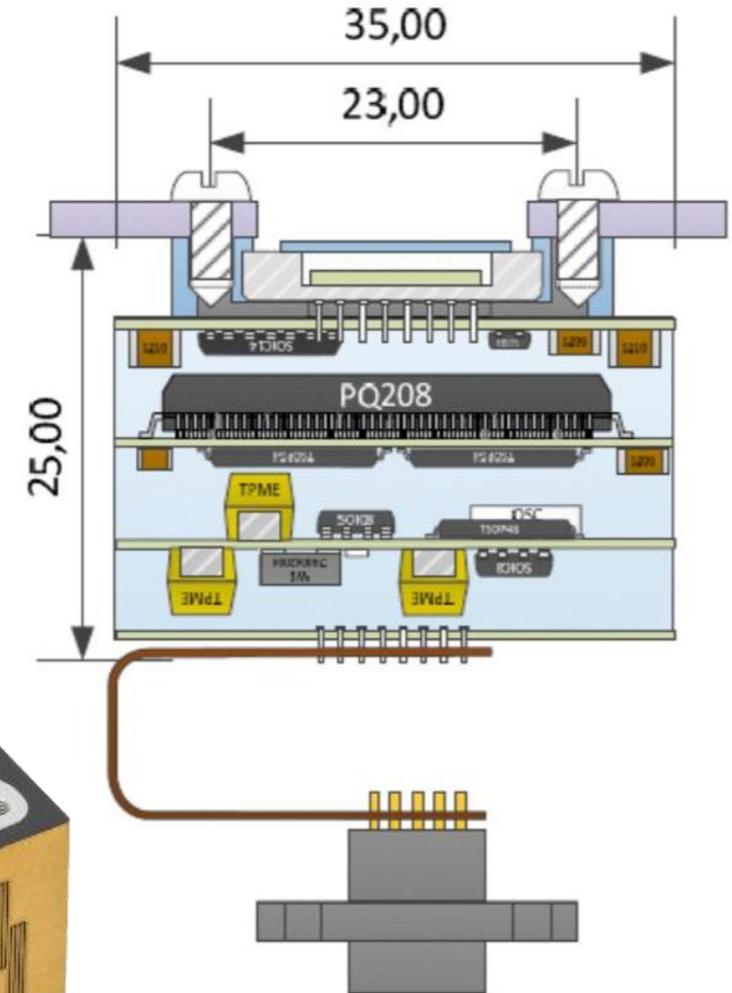
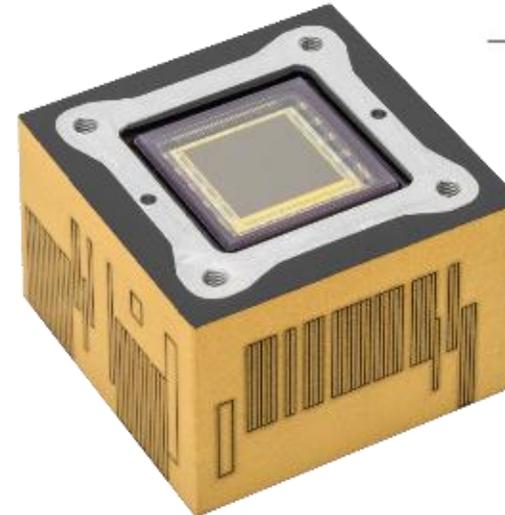
4 Мпикс видеокамера 3D PLUS как серийное изделие

- 2015 год: Партнерство с CNES (Французское Национальное Космическое Агентство) по разработке 4 Мпикс КМОП микрокамеры как готового изделия.
 - Марсоход Mars 2020 (MSL)
- MSL инструмент SuperCam (LIBS, Raman) для геологического анализа и визуализации обстановки.
- 3D PLUS выпускает микрокамеру как **серийное изделие**.



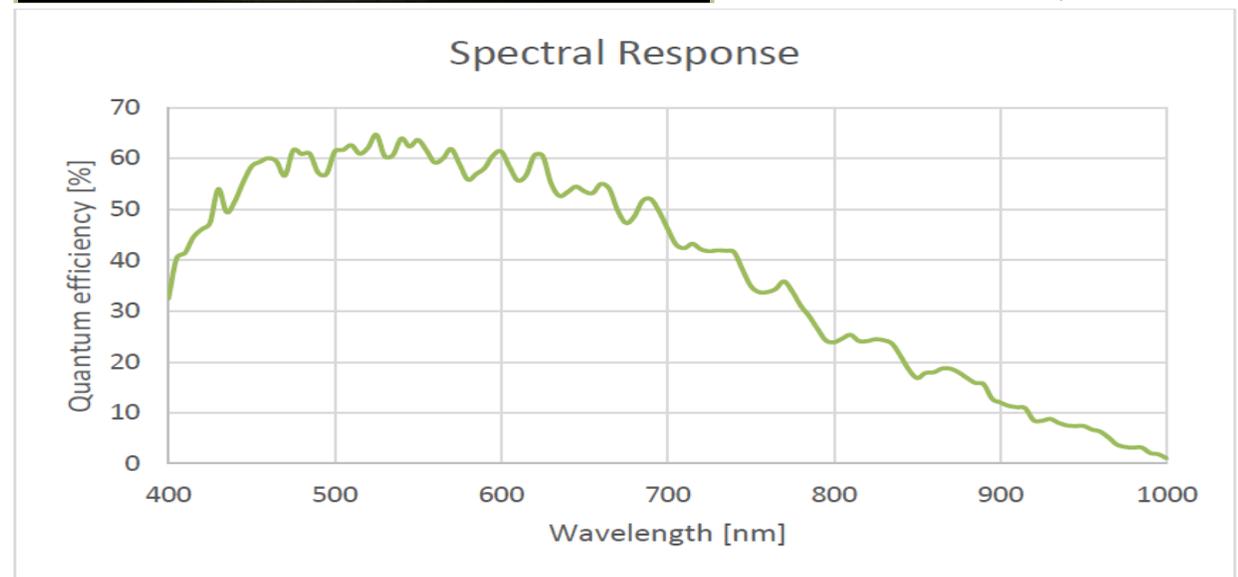
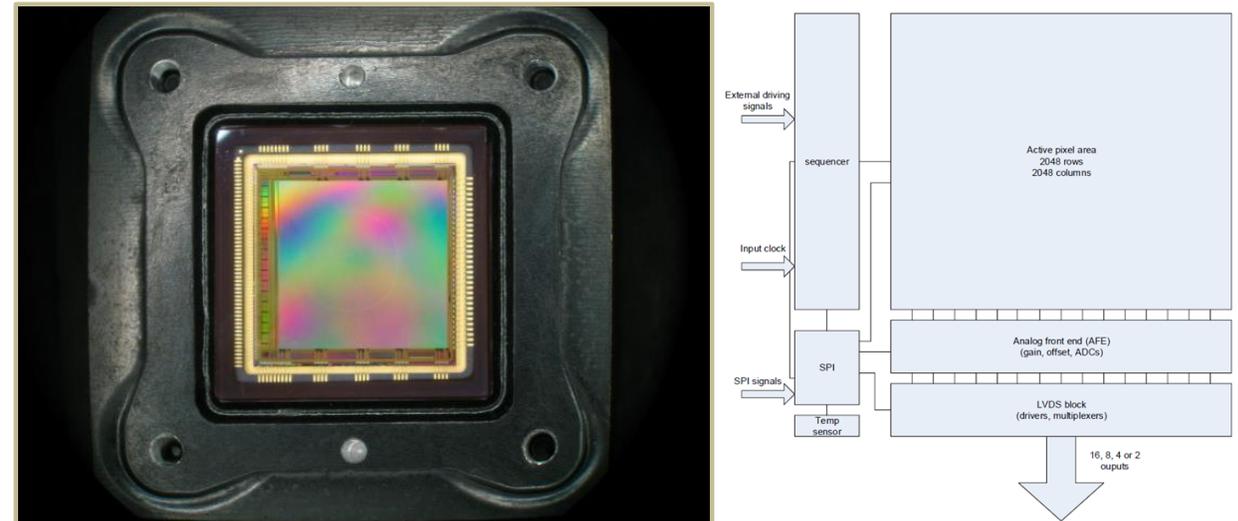
Общее описание функций

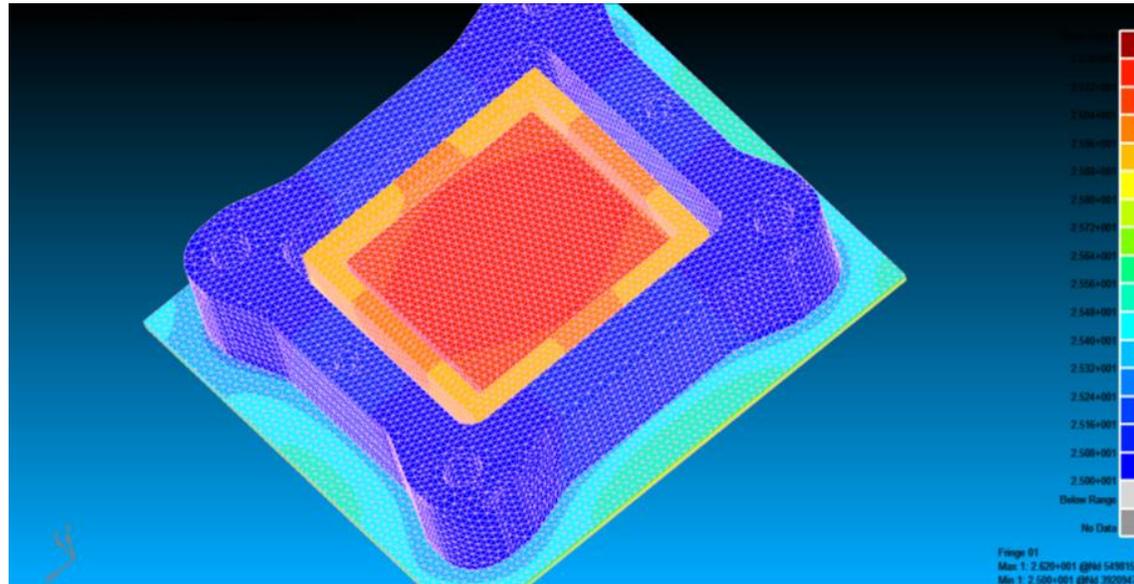
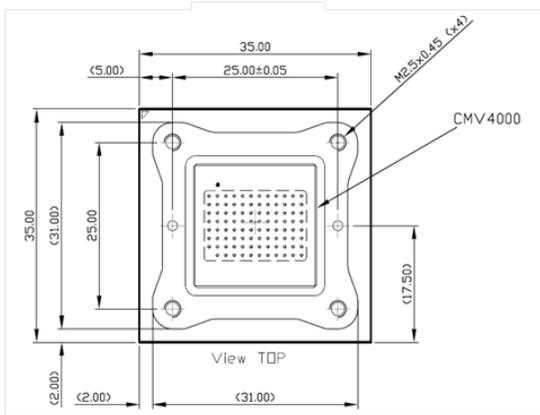
- ПЛИС на основе Flash
 - Обработка изображений
 - Перепрограммируемая пользователем
 - Не подвержена тиристорному эффекту
- Энергозависимая и энергонезависимая память
 - NAND Flash 8 Гб; 25 Мбит/с, хранение до 125 кадров
 - SDRAM 2x512 Мб; 50 МГц, обработка до 16 кадров/с
- Потребляемая мощность ~ 2 Вт
- Защита
 - Возможность ограничения тока
 - Система защиты датчика изображения от тиристорного эффекта
- Механические характеристики
 - Габариты: 35 x 35 x 23 мм³
 - Вес: < 62 г



КМОП датчик изображения

- RGB/Монохром
- Количество активных точек – 4 Мпикс (2048 x 2048)
- Размер пикселя – 5,5 мкм
- Оптический формат – 1”
- Высокая частота кадров и цифровой выход
- Термодатчик на кристалле
- Встроенные микролинзы, дополнительно фильтр Байера
- Темновой шум – 13 e⁻
- Темновой ток – 125 e⁻/с (при 25°C)





Механический интерфейс

- Термоинтерфейс оптимизирован для работы без элемента Пельтье

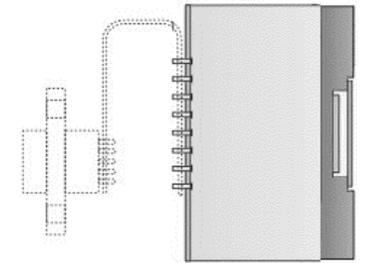
$$R_{thj-a} = R_{thj-c} = 7.5^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

- Механические направляющие для сборки
- Оптическая юстировка гарантирует оптическую центровку

- Корпус PGA (7 x 8 выводов)

- 35 x 35 x 23 мм³

- 62 ± 2 г



Гибкий шлейф для электромеханического подключения модуля

Встроенное программное обеспечение

- Базовые опции для **летного модуля (FM)**:
 - Модуль камеры + программное обеспечение

- Разрабатывается заказчиком
- Разрабатывается заказчиком с использованием «Блоков ПО»
- **Летный код** разработанный 3D PLUS
- **Летный код (по ТЗ заказчика)** разработанный компанией 3D PLUS

Блоки ПО

- SDRAM контроллер памяти (партномер 3DIPCC0735)
- Nand FLASH контроллер памяти (партномер 3DIPCC0736)
- Контроллер ДИ (партномер 3DIPCC0737)
- Кадрирование X/Y
- Дебайеризация

Летный код

- Контроллер ДИ (разрешение, выдержка, частота кадров, кадрирование Y, необработанное изображение...)
- LVDS интерфейсы
- Снижение воздействия радиации (партномер летного кода 3DIPCC0746 в соответствии с **ECSS-Q-ST-60-02C**)

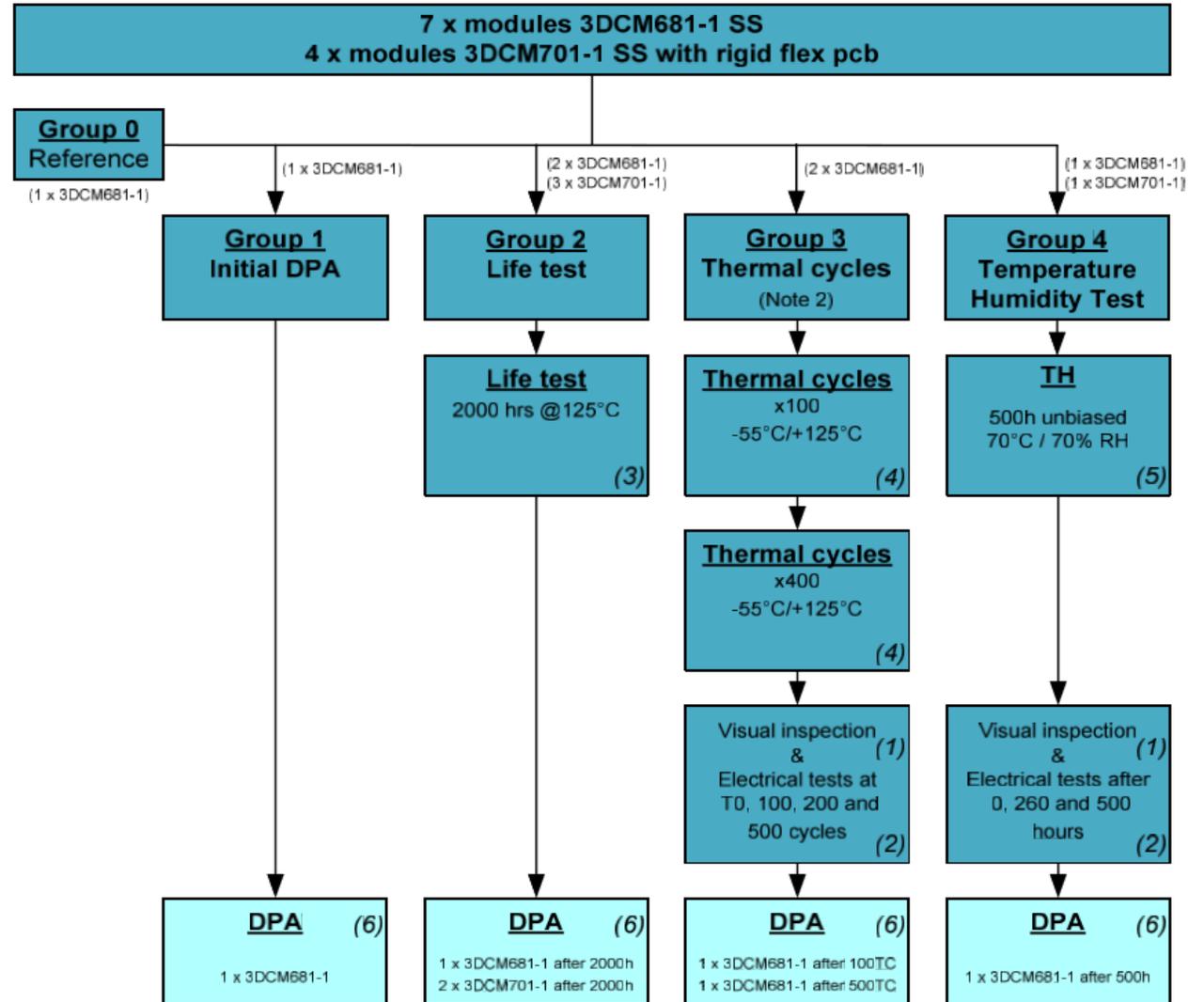
Летный код (по ТЗ)

- Разрабатывается компанией 3D PLUS в соответствии с требованиями заказчика (пакеты, сегментирование, выходной интерфейс, управление памятью...)

План квалификации летных модулей включает следующие виды испытаний:

- Разрушающий физический анализ (РФА)
- Ресурсные испытания
- Термоциклирование, с последующим визуальным контролем и контролем электрических параметров
- Испытания на повышенную влажность, с последующим визуальным контролем и контролем электрических параметров
- Испытания на радиационную стойкость

Все испытания пройдены успешно!



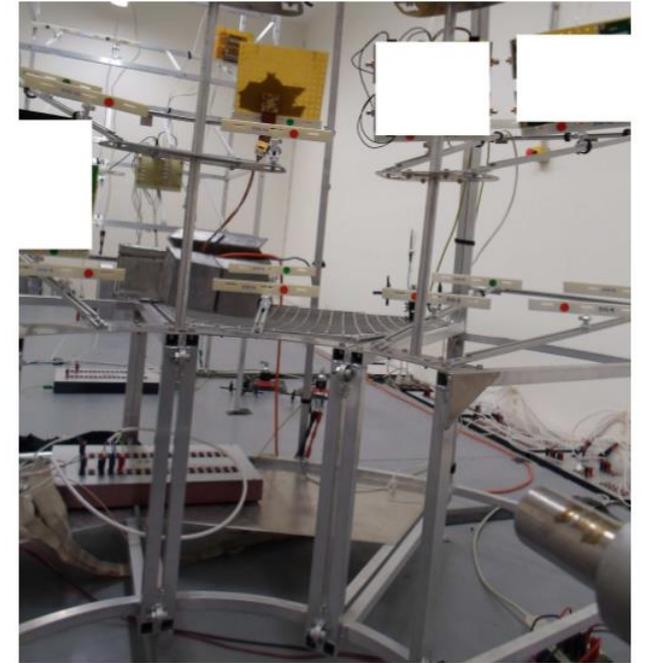
Камеры подверглись облучению гамма-лучами с использованием установки ^{60}Co с интенсивностью 210 рад в час. Замеры увеличения темнового тока от дозы облучения:

Доза	До облучения	1 крад	5 крад	10 крад	50 крад	После отжига
Темновой ток (e-/с)	250	280	582	982	1487	1463

При проведении испытаний на воздействие протонов радиационный эффект смещения (DDD) проявился при 1650 ТэВ/г (Si), при этом связанная с ним общая накопленная доза TID составила 50 крад (SiO_2).



Плата управления



Модуль камеры в радиационной установке

Развитие семейства космических видеокамер 3D PLUS

**Навигация, стыковка,
звездные датчики**



Мониторинг КА



**Широкоугольное
дистанционное
зондирование земли**



**Навигация роверов,
мониторинг полезной
нагрузки**



**Получение изображений
внесемной почвы**



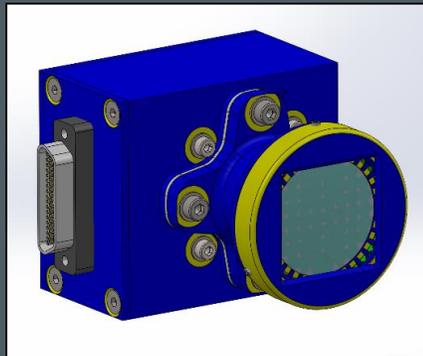
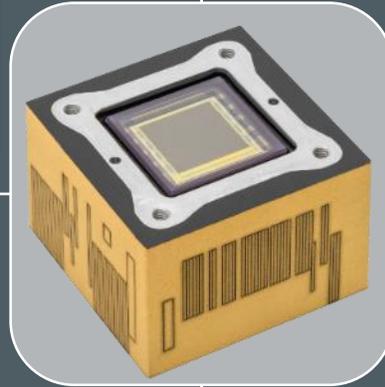
**Измерение аэрозоля в
атмосфере**



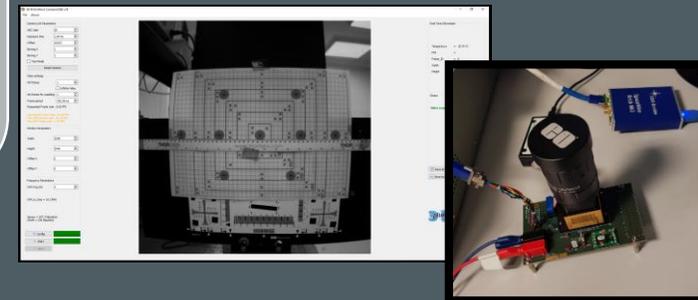
Обеспечение электрических интерфейсов



Космически квалифицированная оптика



Механические интерфейсы и корпуса



Встроенное ПО и программные блоки для разработки, испытательное оборудование

12 Мпикс КМОП видеокамера

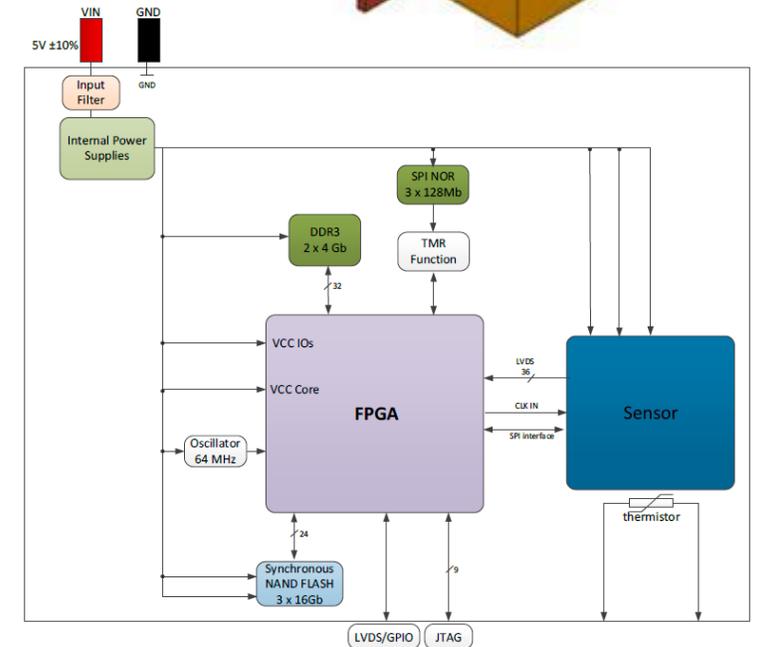
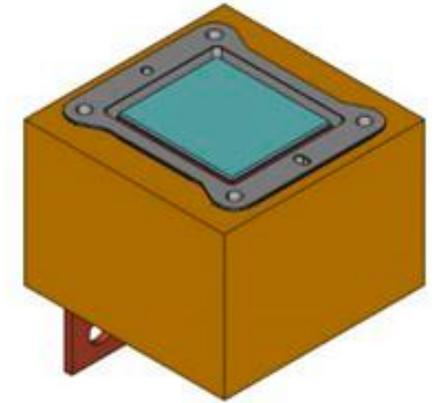
Модули **3DCM800/3DCM828** – это высокопроизводительные микрокамеры высокого разрешения для космического применения. Камеры содержат 12 Мпикс КМОП датчик изображения (монохромный для партномера **3DCM800** или цветной RGB для партномера **3DCM828**) и предлагают различные функции считывания:

- Субдискретизация
- Зона интереса ROI
- Мульти-параметрическое считывание

Архитектура модуля построена на базе современной перепрограммируемой ПЛИС, объединенной с конфигурационной памятью с тройным резервированием, ОЗУ и ПЗУ.

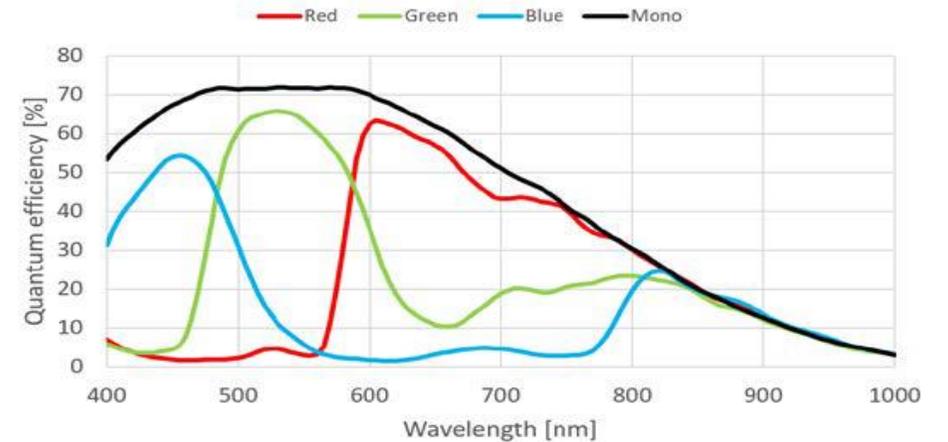
LVDS порты ввода/вывода позволяют осуществлять

подключение микрокамеры через интерфейсы **CameraLink / SpaceWire**



12 Мпикс КМОП датчик изображения с глобальным затвором

- **4096 x 3000** пикс (**3,45 мкм**)
- Темновой шум **2e⁻**
- Зарядовая емкость (FWC) > **11к e⁻**
- Частота кадров до **68 кадр/с**
- Режимы работы **8-10-12 бит**, считывание, сэмплирование, зоны интереса ROI



ПЗУ **Flash NAND** емкостью **48 Гб** и ОЗУ **DDR3 SDRAM** емкостью **8 Гб**

Интерфейсы: **GPIO, LVDS, JTAG**

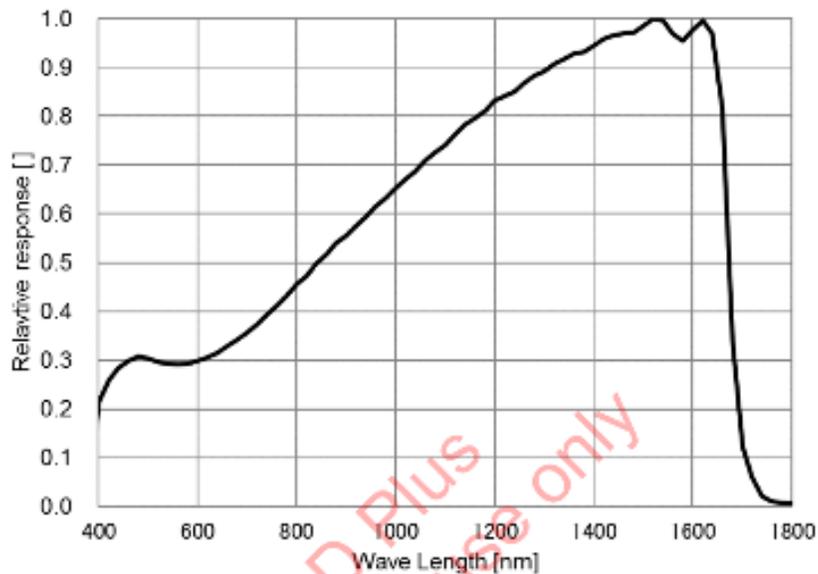
Однополярное питание **5 В**, максимальная потребляемая мощность < **8 Вт**

- Радиационная стойкость: > **40 крад (Si)**, нечувствительность к ТЗЧ с ЛПЭ > **60 МэВ*см²/мг**
- Температурный диапазон: от **-40 °С до 70 °С**
- Высокая степень миниатюризации => **40 x 40 x 30 мм³**, вес < **125 г**
- Программная среда: блоки ПО, стандартный летный код или летный код по ТЗ заказчика
- Отладочный комплект EGSE с аппаратными аксессуарами и ПО для подключения к ПК

Коротковолновая ИК видеокамера разработана для поиска и приема сигнала, отслеживания источника сигнала в спектральной полосе **от 0,4 до 1,7 мкм**

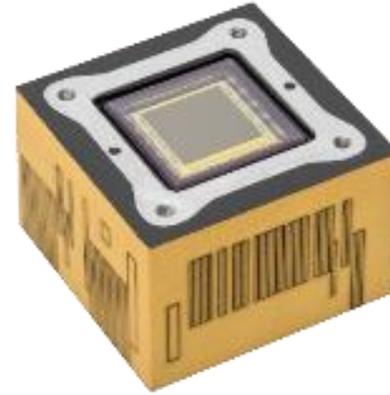
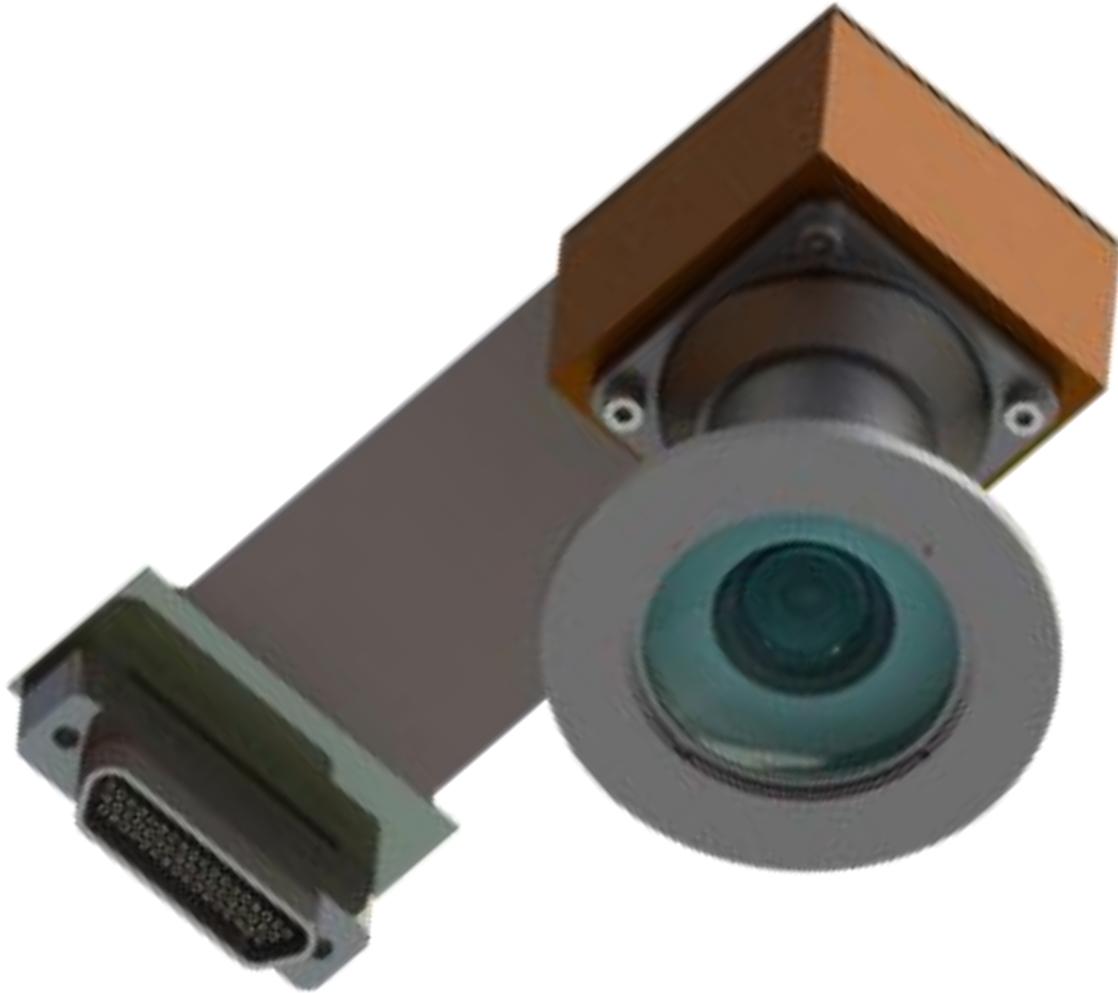
Применение

- Организация ИК канала связи между КА на длинах волн 1,5 мкм, дистанционное зондирование земли, звездные датчики, спектрометрия, мониторинг атмосферы и другие



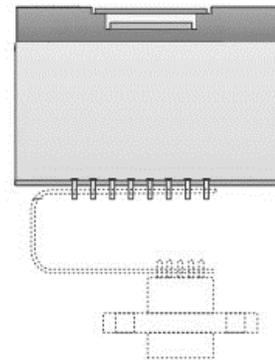
Ключевые особенности

- **InGaAs** коротковолновый ИК датчик изображения с эффективной областью **1280 x 1024 пикс**
- Частота кадров до **120 кадр/с** (10-бит при полном разрешении)
- Надежная архитектура модуля микрокамеры
- Модуль построен на базе архитектуры видеокамеры **3DCM800/3DCM828**
- **Радиационностойкий по конструкции**



- Видеокамера
- Летный код
- EGSE

- Оптика, квалифицированная для космоса
- Корпус объектива



- Гибкий плоский шлейф для электрического подключения

Два широкоугольных объектива доступны как каталожные изделия. Оба успешно прошли испытания на CDR в предыдущих проектах.

Объектив 1

- Полное поле зрения (FOV corners): 77°
- Угол обзора датчика изображения: 54°
- F-число (диафрагменное число): F#9,4
- Фокусное расстояние: 11,8 мм
- Спектральный диапазон: 450 до 1000 нм
- Дисторсия: 7,5 %
- Доступен без радстойкого стекла
- Вес: < 80 г
- Длина (от переднего фланца до датчика): 45 мм
- Летный опыт: JUICE, LUNA-RESURS

Объектив 2

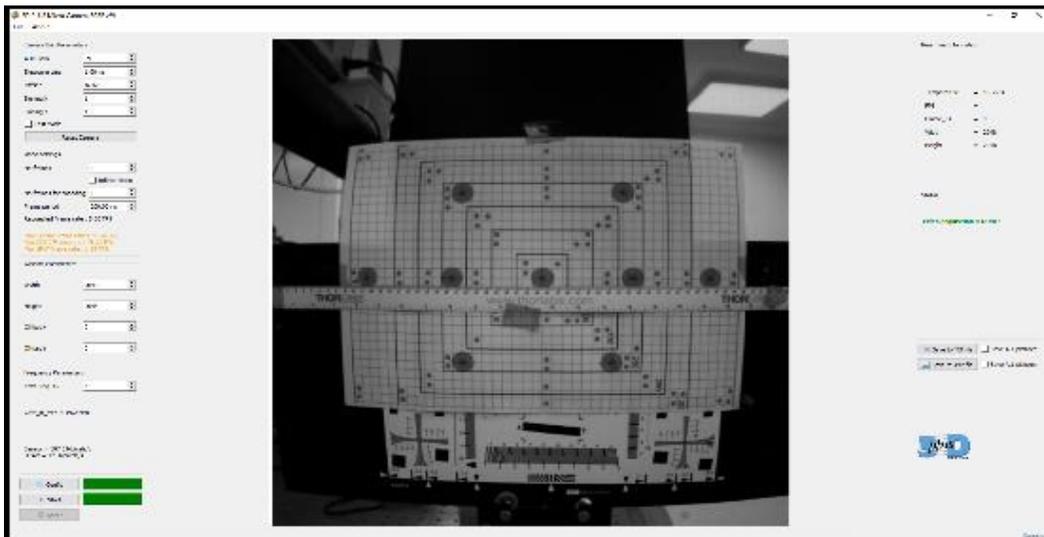
- Полное поле зрения (FOV corners): 118°
- Угол обзора датчика изображения: 83°
- F-число (диафрагменное число): F#8,1
- Фокусное расстояние: 7,8 мм
- Спектральный диапазон: 450 до 700 нм
- Дисторсия: 17,5 %
- Доступен без радстойкого стекла
- Вес: < 80 г
- Длина (от переднего фланца до датчика): 38 мм
- Летный опыт: BIOMASS

Планируются следующие миссии с применением видеосистемы КМОП камер:

- LUNA-Resurs (Роскосмос), HERA (ESA/ОНВ), MMX (JAXA/CNES/DLR)

Наземное вспомогательное оборудование (EGSE) для камеры – 0-XX00181

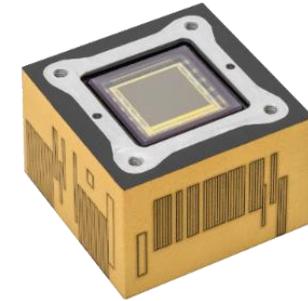
- Печатная плата с разъемом SpaceWire
- Лабораторный блок SpaceWire Brick
- Инженерный код
 - Идентичный летному коду функционал, но без возможности работы в условиях радиации
 - Доступен с отладочным комплектом EGSE
- Руководство пользователя



- Программное обеспечение ПК для захвата изображений
 - Исполняемый файл, графический пользовательский интерфейс

Принципы проектирования космических видеокамер 3D PLUS

- Высокоинтегрированное решение «Все-в-Одном»
- Архитектура на базе перепрограммируемой пользователем ПЛИС
- Радиационнотойкие по конструкции модули
- Оптимизированные оптический, механический и тепловой интерфейсы
- Доступное встроенное ПО и инструменты для разработки



Модуль КМОП камеры
3DCM734/739 для
космического применения

Изделие	Партномер	Доступность	IP-ядра
4 Мпикс КМОП микрокамера	3DCM734 (монохром) 3DCM739 (цветной RGB)	Доступны инженерный и летный модули	3DIPCC0746: летный код 3DIPCC0735: контроллер SDRAM 3DIPCC0736: контроллер Flash 3DIPCC0737: контроллер ДИ
12 Мпикс КМОП микрокамера	3DCM800 (монохром) 3DCM828 (цветной RGB)	4 кв. 2021 (инженерный) 2 кв. 2022 (летный)	3DIPCC0838: летный код 3DIPCC0835: контроллер SDRAM 3DIPCC0836: контроллер Flash 3DIPCC0837: контроллер ДИ
Коротковолновая ИК микрокамера	3DCM830 (ИК)	2 кв. 2022 (инженерный) 1 кв. 2023 (летный)	3DIPCC0xxx: летный код 3DIPCC0835: контроллер SDRAM 3DIPCC0836: контроллер Flash 3DIPCC0xxx: контроллер ДИ

Универсальность:

- Широкая номенклатура конфигураций видеокамер
- Возможность перепрограммирования пользователем
- Разнообразный спектр применений

Простота в использовании:

- Готовое к использованию решение
- Доступные инструменты разработки, встроенное ПО и IP-ядра
- Оптимизированные интерфейсы

Экономия размеров и веса:

- Преимущества технологии корпусировки компании 3D PLUS для высокой степени интеграции и миниатюризации

Значительное сокращение времени и расходов:

- Серийное производство
- Космическая квалификация
- Готовое «со склада» решение с подтвержденным летным опытом!

Опыт применения видеокамер 3D PLUS в космических приложениях

Инструмент IRIS наноспутника EyeSat: видеокамера встроена в блок визуализации. Получен первый летный опыт серийной камеры!

Приложения:

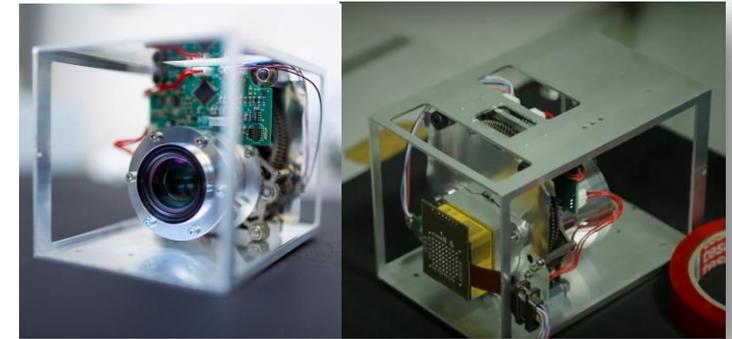
- Анализ Зодиакального света земли
- Получение изображения Млечного пути

Заказчик: CNES

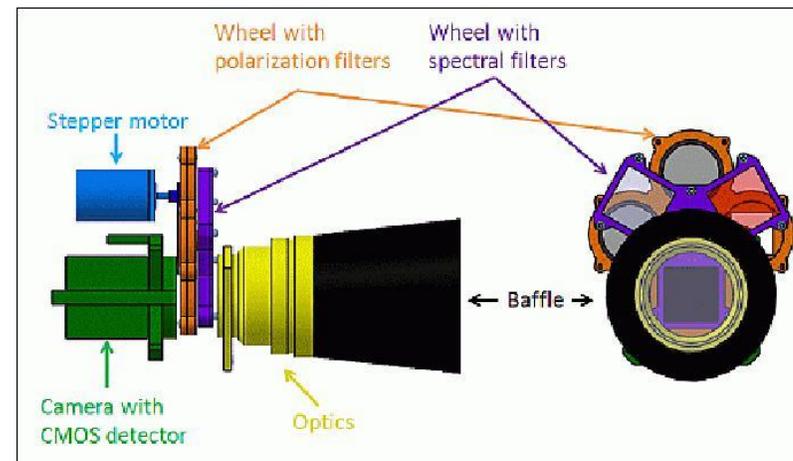
3D PLUS обеспечила поставку:

- Космически квалифицированной видеокамеры 3DCM739 с электрическим соединителем на заказной гибкой печатной плате
- Базового встроенного ПО камеры

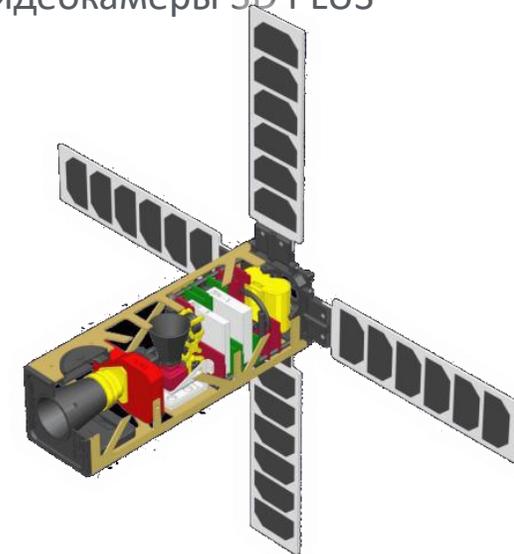
Камера полностью функциональна на орбите с декабря 2019 года!



Интегрированный в инструмент IRIS модуль 4 Мпикс видеокамеры 3D PLUS *



Схематичный вид инструмента IRIS *



3D модель наноспутника EyeSat *

* Изображения предоставлены: EyeSat Team

Инструмент SUPERCAM на марсоходе Perseverance.

Цветная видеокамера высокого разрешения установлена в блоке Remote Micro-Imager (RMI).

Приложения:

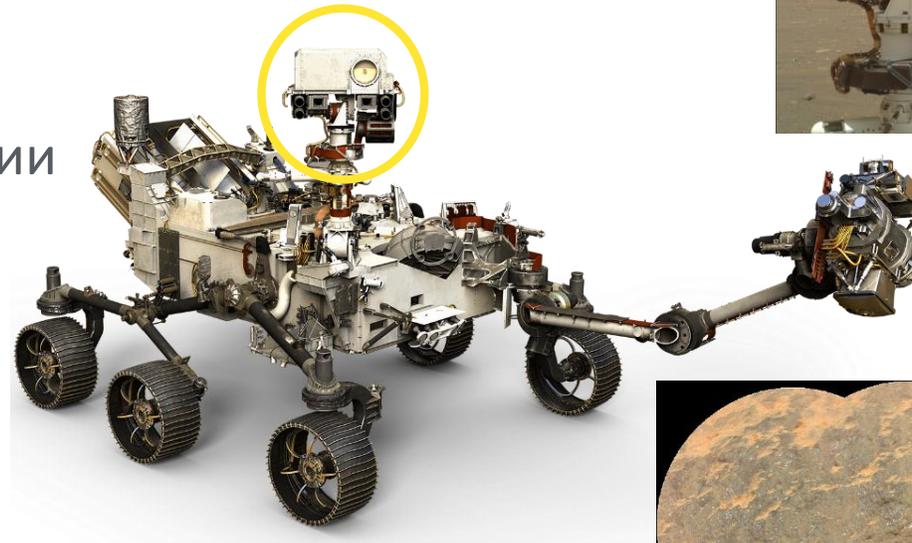
- Визуализация на дальней дистанции
- Мониторинг почвы Марса
- Анализ атмосферы

Заказчик: NASA/CNES

3D PLUS обеспечила поставку:

- Космически квалифицированной видеокамеры 3DCM739 с электрическим соединителем на заказной гибкой печатной плате
- Заказного космически квалифицированного встроенного ПО камеры

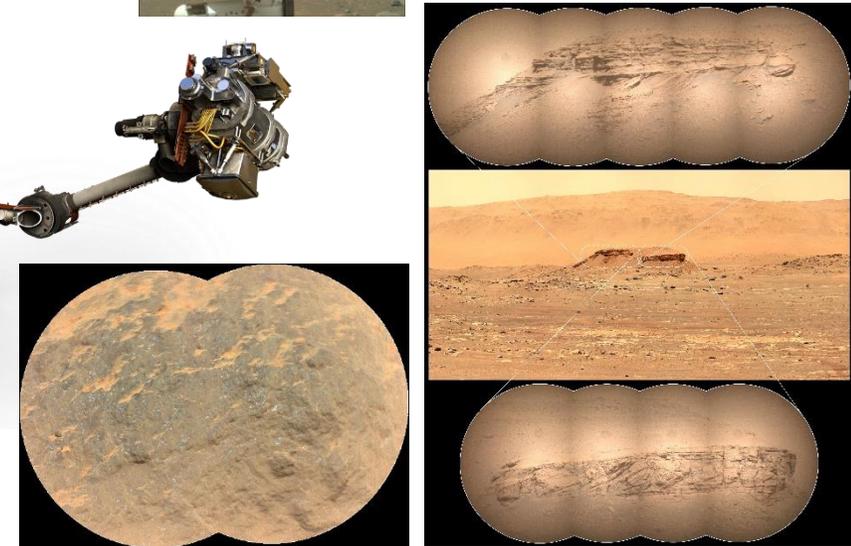
Камера полностью функциональна на Марсе с марта 2021 года!



Марсоход Perseverance
Миссия MARS2020



«Селфи» инструмента
SUPERCAM *



Слева: Крупный план скалы Yeehgo;
Справа: RMI в режиме 'Телескоп' – Гора
Mesa к югу от дельты

* Изображения предоставлены:
NASA/JPL/Caltech/LANL/CNES/IRAP

Инструмент PROSPECT миссии LUNA RESURS. Камера мониторинга, установленная на посадочный лунный модуль LUNA 27

Приложения:

- Мониторинг буровой установки ProSEED

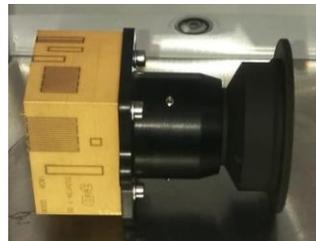
Заказчик: LEONARDO/ROSKOSMOS

3D PLUS обеспечивает поставку:

- Полностью космически квалифицированной видеосистемы с видеокамерой 3DCM734, объемным механическим корпусом с интегрированным электрическим соединителем и объективом
- Космически квалифицированного встроенного ПО
- Электронного оборудования наземной поддержки (EGSE)

Планируемая дата запуска 2025 год

Для инструмента PROSPECT разработан объектив как «Готовое изделие»



Блок визуализации PROSPECT с системой подсветки, разработанный Kayser



Изображение посадочного модуля LUNA-RESURS
Предоставлено:
NPO/LAVOCHKIN

Звездные датчики AURIGA – большой объем производства видеокамер для группировки OneWeb

Приложения:

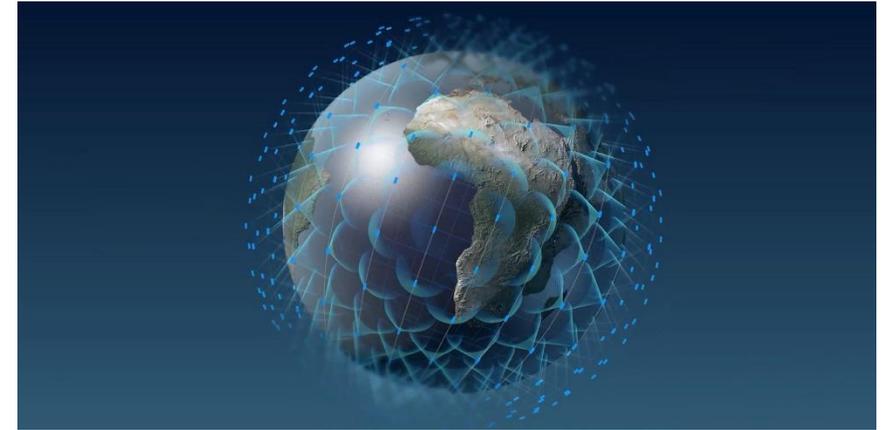
- Сверхминиатюрные звездные датчики для обширной спутниковой группировки

Заказчик: SODERN/OneWeb

3D PLUS обеспечивает поставку:

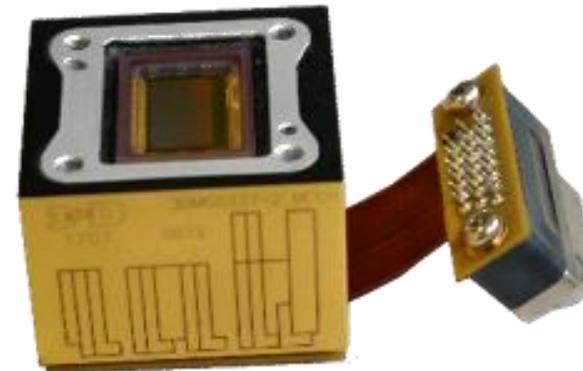
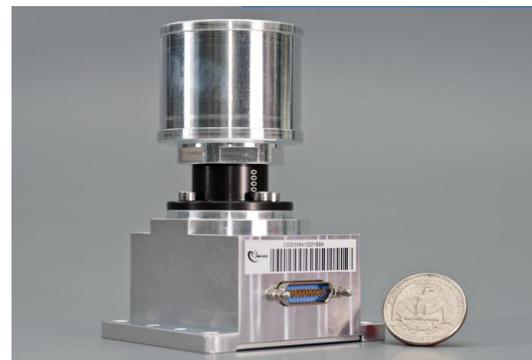
- 2000 модулей камер и электрических соединителей на гибкой печатной плате

Первый запуск состоялся в марте 2019 года, изготовлено более 1000 видеокамер!



Спутниковая группировка OneWeb
Изображение предоставлено: Airbus

Звездный датчик AURIGA
Предоставлено: SODERN



Модуль КМОП
камеры звездного
датчика AURIGA

С целью измерения воздействия аэрозолей на климат и здоровье людей в рамках миссии PACE был разработан аэрозольный поляриметр SPEXOne

Приложения:

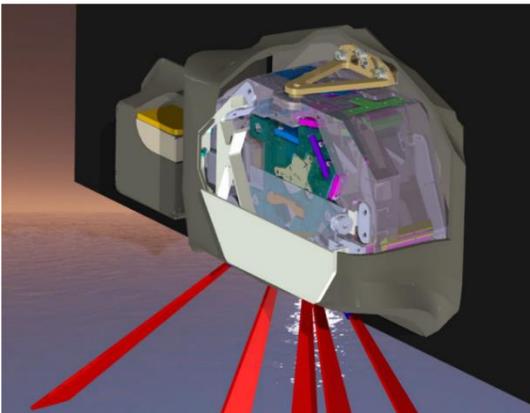
- Измерение состава аэрозолей с использованием спектрополяриметра

Заказчик: SRON/AIRBUS NL

3D PLUS обеспечила поставку:

- Космически квалифицированную видеокамеру 3DCM734 с электрическим соединителем на заказной гибкой печатной плате

Планируемая дата запуска 2023 год



Изображение инструмента SPEXOne
Предоставлено: AIRBUS NL / SRON



Космический аппарат PACE (визуализация)
Предоставлено: SRON

Nav Cams, Wheel Cams, Spectrometer Cam – это все «глаза» ровера миссии MMX (Исследование лун Марса)

Приложения:

- Навигационные камеры ровера
- Мониторинг колес ровера
- Формирователь изображения для обнаружения света комбинационного (Рамановского) спектрометра

Заказчик: CNES/DLR/JAXA

3D PLUS обеспечила поставку:

- 5 видеокамер, оборудованных объективами или без них, с электрическими соединителями на гибкой печатной плате
- Космически квалифицированного встроенного ПО для всех видеокамер
- Электронного оборудования наземной поддержки (EGSE)

Планируемая дата запуска 2024 год



Одна из видеокамер MMX в сборе с механическим интерфейсом и объективом, установленная на отладочную плату оборудования EGSE



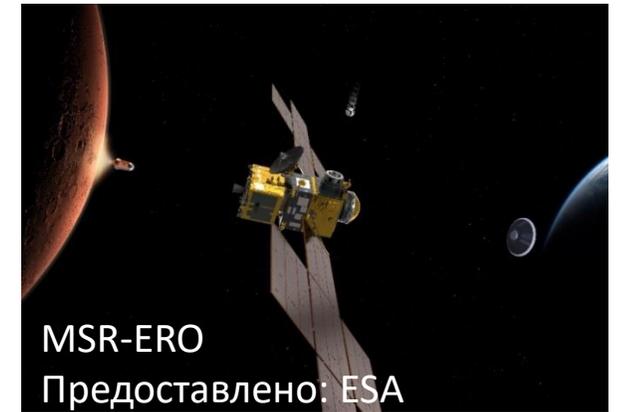
Исследовательский ровер MMX
Предоставлено: CNES/DLR

Многокамерная система мониторинга MSR-ERO для контроля возвращения на землю образцов поверхности Марса

Приложения:

- Мониторинг разворачивания антенн и солнечных панелей, отделение блоков космического аппарата, рекуперация проб

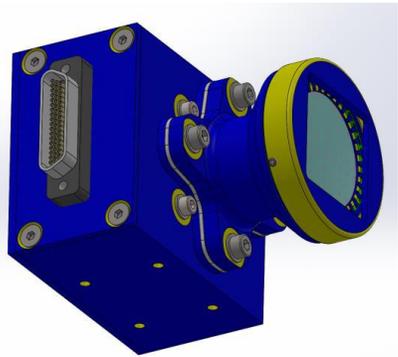
Заказчик: AIRBUS/NASA



3D PLUS поставит:

- 7 космически квалифицированных видеосистем: видеокамеры 3DCM739 в объемном корпусе и объективы с использованием готовых комплектующих
- Блок управления камерой мониторинга с преобразователем напряжения постоянного тока для первичной шины питания и маршрутизатором SpaceWire для подключения модулей камеры к бортовому компьютеру
- Квалифицированное встроенное ПО для видеокамер и блока управления
- Электронное оборудование наземной поддержки (EGSE)

Планируемая дата запуска 2026 год



Предварительная концепция видеокамеры

Адрес: г. Санкт-Петербург, Литейный пр-т, д. 22

Тел.: +7 (812) 449 01 40

Web: www.intech-rus.com

E-mail: Korolev.Aleksey@intech-rus.com