

Краткие сообщения

Brief Communications

DOI: 10.31857/S020596060008423-7

ИСТОРИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ВИДЕОКАМЕР ДЛЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ В КОСМОСЕ

ЩЕРБИНIN Дмитрий Юрьевич — *Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН; Россия, 125315, Москва, ул. Балтийская, д.14; E-mail: xyzt@inbox.ru*

© Д. Ю. Щербинин

В статье описано использование технических средств для выполнения стереоскопической видеосъемки во время пилотируемых космических полетов в период 2005–2011 гг. Рассмотрены принципы и подходы, использованные при создании стереоскопических видеокамер семейства *ERB* (*Erasmus Recording Binocular*). *ERB-1* стала первой полностью цифровой стереокамерой, используемой на борту пилотируемых космических аппаратов. Представлено описание основных отличий камер *ERB-1* и *ERB-2*, а также основные результаты и выводы, сделанные на основании опыта эксплуатации стереоскопических камер на борту Международной космической станции.

Ключевые слова: стереоскопическое видео в космосе, пилотируемые полеты в космос, космическая видеотехника, космические стереоскопические камеры.

Статья поступила в редакцию 2 декабря 2019 г.

THE HISTORY OF USE OF DIGITAL VIDEO CAMERAS FOR STEREO VIDEO RECORDING IN SPACE

SHCHERBININ Dmitry Yurievich — *S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology, Russian Academy of Sciences; Ul. Baltiyskaya, 14, Moscow, 125315, Russia; E-mail: xyzt@inbox.ru*

© D. Yu. Shcherbinin

Abstract: This paper describes the use of stereoscopic photography devices during manned space flights from 2005 to 2011. The principles and approaches used to create ERB (*Erasmus Recording Binoculars*) cameras are reviewed. ERB-1 was the first fully digital stereo camera used on board of manned spacecrafts. The main distinguishing features of ERB-1 and ERB-2 as well as the main results and conclusions based on the experience of using stereo video cameras on board of the International Space Station are described in the paper.

Keywords: stereoscopic video in space, manned space flights, space video equipment, space stereo video cameras.

For citation: Shcherbinin, D. Yu. (2020) Istoriia ispol'zovaniia tsifrovyykh videokamer dlia stereoskopicheskoi s'emki v kosmose [The History of Use of Digital Video Cameras for Stereo Video Recording in Space], *Voprosy istorii estestvoznaniia i tekhniki*, vol. 41, no. 1, pp. 154–163, DOI: 10.31857/S020596060008423-7

Становление и развитие космического оборудования для регистрации визуальной информации в пилотируемой космонавтике неразрывно связано с технологической эволюцией методов и средств получения, хранения и передачи изображений. Первое применение регистрирующей аппаратуры на борту космического аппарата можно отнести к полету корабля «Восток-2» (6 августа 1961 г.), пилотом-космонавтом которого был Г. С. Титов. В полете космического корабля «Восток-2» была выполнена киносъемка поверхности Земли и подтверждена возможность проведения космонавтом наблюдений поверхности Земли с помощью специальных оптических устройств. Для этого на борту корабля использовалась репортерская кинокамера КСР-1. За 60 лет пилотируемых космических полетов на орбите применялись кино- и фотокамеры, а также специализированные устройства регистрации, основанные на различных принципах получения и хранения изображений. Основной задачей статьи является исторический анализ технических предпосылок перехода к цифровым технологиям видеорегистрации на борту пилотируемых космических аппаратов.

Интерес к технологии стереосъемки в мировой пилотируемой космонавтике наиболее ярко проявился в 1998–2010 гг. С 1998 по 2001 г. в космосе выполнялись съемки с использованием стереосъемочной киноаппаратуры *IMAX*. Стереосъемка проводилась в рамках экспериментов по программе полетов многоразовых космических кораблей «Спейс шаттл» (*Space Shuttle*), а затем в рамках программы Международной космической станции (МКС). С 2005 г. развитие технологии стереосъемки на борту пилотируемых космических аппаратов связано с использованием цифровых камер «Эразмус рекординг бинокуляр» (*Erasmus Recording Binocular, ERB*).

Стереоскопическая камера *ERB-1* была разработана в Эразмус-центре (*Erasmus Center*), находящемся в Европейском центре исследований и технологий (*European Space Research and Technology Center, ESTEC*) (Нордвик, Нидерланды) Европейского космического агентства (ЕКА) (*European Space Agency, ESA*). Центр является площадкой для популяризации результатов космической деятельности Управления пилотируемых космических полетов ЕКА. Работы по созданию камеры проводились совместно с компанией «Козин ресёрч» (*Cosine Research*, Лейден, Нидерланды). Координацию работ по проекту *ERB* осуществлял руководитель Эразмус-центра М. Саббатини.

Камера *ERB-1* имела ряд технических особенностей и являлась инновационным решением в области космической видеорегистрирующей техники. В ней, в отличие от существовавших на борту МКС к 2005 г. средств видеозаписи, был реализован принцип записи цифровой видеоинформации на жесткий диск. Съёмный 2,5-дюймовый диск ёмкостью 80 Гб со стандартным *IDE*-интерфейсом позволял вместить 45 мин. несжатой видеозаписи в стереоформате. Диск устанавливался через специальный слот на боковой поверхности камеры, что давало возможность оперативно менять носитель информации¹. *ERB-1* была основана на серийных компонентах микроэлектроники, что позволяло быстро производить замену элементов и развивать конструкцию устройства.

Стереокамера была выполнена по принципу бинокля с добавлением функции видеозаписи (и воспроизведения) в цифровом формате (рис. 1). Для этого потребовалось реализовать взаимодействие трех частей: приемников изображения (система спаренных камер), стереоскопического видеоискателя (дисплей), встроенного устройства цифровой записи и воспроизведения (основная электроника). Камера обладала простым, интуитивно понятным пользователю интерфейсом управления, что, как следствие, предполагало короткий период подготовки астронавта в качестве оператора видеосъемки. Управление осуществлялось с использованием монофункциональных кнопок, расположенных по бокам корпуса камеры. С их помощью выполнялись основные операции: запись / остановка, воспроизведение записи и удаление снятых сцен, управление фокусом и экспозицией, установка баланса белого. Функции экранного меню были сведены к минимуму. Для сокращения времени запуска камеры в качестве управляющего программного обеспечения была использована операционная система *Linux*. Время подготовки камеры от включения до состояния готовности к записи составляло 40 с. Энергопотребление камеры не превышало 40 Вт.

В качестве приемников стереоизображения были использованы две моторизированные портативные цифровые камеры с разрешением 640 × 480 пикселей и автофокусом, позволяющим в условиях

¹ *Sabbatini, M., Visentin, G., Collon, M., Ranebo, H., Sunderland, D., Fortezza, R.* Stereo Cameras on the International Space Station // *Proceedings SPIE. Vol. 6490. Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XIV*, 64901P (5 March 2007) P. 1–6.



Рис. 1. Внешний вид цифровой видеокамеры ERB-1 (фото ЕКА)

невысокой освещенности на борту космической станции работать в диапазоне 0,5–10 м. Считывание сигнала с ПЗС-матриц осуществлялось с частотой 25 кадров/с, что создавало поток видеоданных (несжатого видео) 1,3 Гб в мин. (без учета стереофонического аудиосигнала) ².

Изображения одновременно с записью отображались в стереоскопическом видеискателе, выполненном в виде двух *OLED*-дисплеев с разрешением 852 × 600 пикселей. В режиме воспроизведения записанных файлов приемники изображения отключались, и содержимое жесткого диска можно было просмотреть в стереоскопическом видеискателе, что позволяло астронавту оценить качество видеозаписи и пространственный эффект записанных сцен без использования специализированного воспроизводящего видеоборудования.

Камера успешно прошла сертификацию для работы на борту российского и американского сегментов МКС. Это стало возможным благодаря тому, что на этапе проектирования были учтены факторы космического полета и требования к безопасности изделия при работе на орбите. Разработка выполнялась с учетом требований, предъявляемых к штатному бортовому оборудованию пилотируемых космических аппаратов и продиктованных прежде всего безопасностью экипажа: корпус камеры не имел острых краев и углов, которые могли бы нанести травмы членам экипажа в условиях невесомости; температура корпуса работающей камеры не превышала 49 °С; устройство не представляло опасности в случае электрического, механического или программного

² Там же.

сбоя. Особое внимание было уделено элементной базе. Все материалы и комплектующие, использованные в производстве *ERB*, были тщательно отобраны и протестированы с целью использования только тех, которые не поддерживают горение и не выделяют токсичных газов при высоких температурах или в случае возгорания. Электрические провода в полихлорвиниловой изоляции были заменены на провода с изолирующей оболочкой с повышенной термостойкостью. При невозможности замены электропроводов для создания дополнительной защитной оболочки использовалась алюминиевая фольга.

Камера выдерживала ускорения и вибрации, возникающие на этапе старта космического аппарата и выведения на орбиту, была устойчива (взрывобезопасна) при воздействии вакуума или быстрого падения давления. Электромагнитное излучение при работе камеры соответствовало определенному профилю. Уровень шума работающей камеры не превышал допустимый для работы на МКС. Была исключена возможность распространения внутри космического корабля фрагментов потенциально разрушаемых материалов и элементов камеры в случае их повреждения или разрушения. Элементы, содержащие стекло (ПЗС-матрицы, дисплеи), для предотвращения распространения в объеме станции частиц разрушаемых материалов были экранированы пластиком. Кроме того, во время допуска к полету был модифицирован корпус камеры — вентиляционные отверстия для охлаждения цифрового процессора были покрыты сеткой с размером ячейки 50 мк, что ограничило приток воздуха к платам электроники и повлекло снижение эффективности работы вентилятора охлаждения процессора. В условиях невесомости при отсутствии естественной конвекции воздуха нормальная работа системы принудительной вентиляции является критически важной, что повлияло на ограничение длительности непрерывной работы камеры — во избежание перегрева электроники камера должна была работать не более одного часа.

Выполнение ряда предъявляемых к конструкции камеры требований для ее допуска к полету осуществлялось за счет организационно-технических решений. Чтобы избежать появления пусковых токов при включении камеры на борту станции и сложной процедуры сертификации разъемов электрического питания, было принято решение использовать для работы *ERB-1* аккумуляторные батареи. Также было учтено, что из-за токсичных химических компонентов и взрывоопасности при понижении давления аккумуляторы очень трудно сертифицировать для полета. Поэтому ЕКА обратилось в НАСА для получения согласия на использование перезаряжаемых батарей *BP930 Canon*, которые уже использовались на борту космической станции. Под них был спроектирован и изготовлен интерфейс электропитания камеры.

В результате камера была допущена к использованию на борту МКС, однако ее внешний вид существенно отличался от традиционного для данного вида оборудования. Корпус камеры был угловат

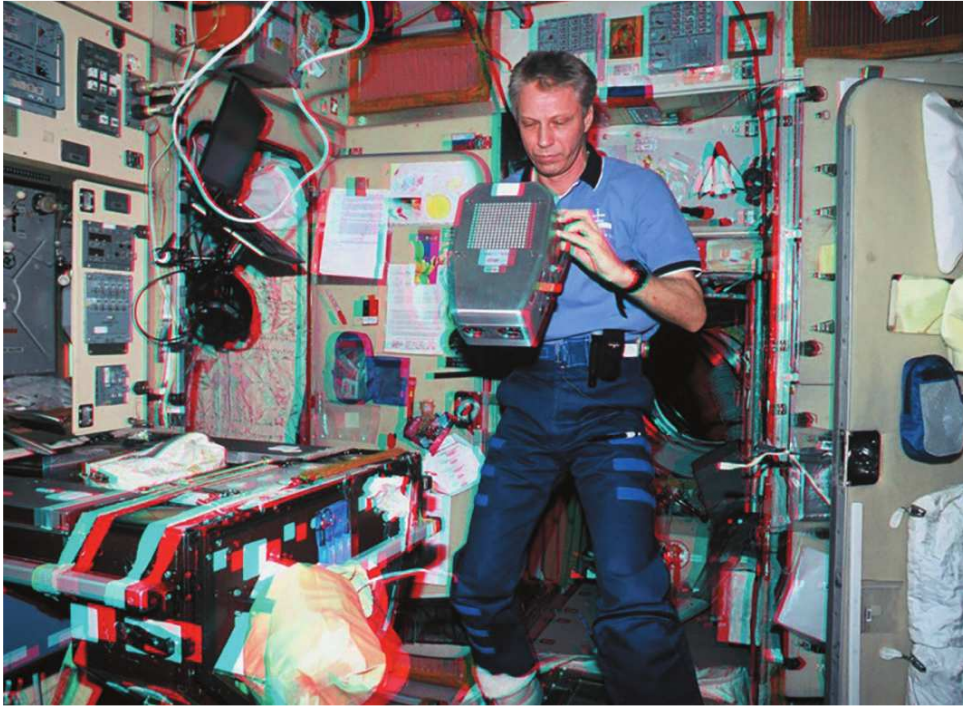


Рис. 2. Астронавт ЕКА Т. Райтер во время работы с камерой ERB-1 на борту МКС, 2006 г. (фото ЕКА)

и напоминал корпус стационарного электронного блока. Габаритные размеры камеры составляли $300 \times 200 \times 150$ мм, ее масса — 4 кг.

24 июня 2006 г. камера ERB-1 была доставлена транспортным кораблем «Прогресс-22Р» на МКС. Работы по научной программе ЕКА *Astrolab-2006* с камерой выполнялись астронавтом ЕКА Томасом Райтером в период с 4 июля по 24 декабря 2006 г. (рис. 2). Эксперимент преследовал несколько основных целей: тестирование первой полностью цифровой стереокамеры для космических полетов на устойчивость к факторам космического полета в течение длительного периода времени нахождения на орбите; получение видеосюжетов о жизни и работе космонавтов на борту МКС в новом формате видеозаписи; получение стереоскопических изображений интерьера МКС для трехмерной модели тренажера виртуальной реальности. В эксперименте были использованы несколько видео- и фотосредств: видеокамера ERB-1, видеокамера формата *mini DV Sony PD-150* и 3D-фотокамера RBT 5X (на базе зеркальной пленочной фотокамеры *Nikon FM10*). Для достижения целей эксперимента и оценки возможностей аппаратуры разного типа регистрировать глубину сцены осуществлялась видео- и фотосъемка предметов и объектов, перемещающихся в направлении камеры и от камеры, а также съемка сцен с передним, задним планом, выраженной линейной перспективой и объектов



Рис. 3. Цифровая видеокамера ERB-2 (фото ЕКА)

с пространственной ориентацией вдоль оси визирования. В результате эксперимента на Землю были доставлены четыре съемных жестких диска (около 180 мин. видеозаписи), четыре ролика позитивной пленки (48 стереопар изображений) и две видеокассеты формата *MiniDV-60* (120 мин. видеозаписи).

Результаты выполненных съемок получили положительную оценку специалистов и были публично продемонстрированы в Эразмус-центре ЕКА. Работы по совершенствованию стереоскопических средств видеозаписи для работы в космосе были продолжены.

К концу 2009 г. в ЕКА была разработана новая камера семейства *ERB* — *ERB-2*. Она стала следующим поколением в эволюции стереоскопических космических видеокамер (рис. 3).

Принципиальными отличиями *ERB-2* от *ERB-1* являлись улучшенное разрешение 1280×720 пикселей (*HD 720p*), благодаря чему достигалась совместимость с видеостандартом *HDTV*; возможность транслировать по каналам связи стереоскопическое цифровое видео в прямом эфире; возможность передавать по каналам связи файлы записанных предварительно видеосюжетов; наличие режима дистанционного управления. Для реализации канала «борт — Земля» при передаче сигнала с МКС использовалась линия высокоскоростной передачи данных через стойку оборудования *European Drawer Rack (EDR)* на борту МКС.

На начальном этапе работ по *ERB-2* использовалась та же философия проектирования, что и при создании *ERB-1*, однако требования

прямого (*on-line*) вещания и связанное с этим сильное сжатие видео не могли быть реализованы на серийных промышленных компонентах. Поэтому концепция проектирования была изменена, и создание новой камеры пошло по пути разработки специальной электроники. В работе над новой камерой объединили свои усилия компании «Козин ресёрч» и «Текно систем девелопментс» (*Techno System Developments, TSD*) (Неаполь, Италия) ³. Задача заключалась в том, чтобы при заявленных технических характеристиках (высокая производительность в обработке видео, компактность и малая потребляемая мощность) стереокамера высокой четкости отвечала жестким требованиям, предъявляемым к космическому бортовому оборудованию (безопасность, устойчивость к факторам космического полета).

Функциональную схему *ERB-2*, как и *ERB-1*, можно разделить на три модуля: стереоскопическая система камер, дисплей, основная электроника. В ходе тестирования элементной базы для *ERB-2* сравнивались несколько устройств приема изображения с аналогичным *HD*-разрешением. В качестве базовой была выбрана камера, разработанная в Институте интегральных схем Фраунгофера (*Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen*, Эрланген, Германия). Эта камера имела интерфейс *HD/SDI*, низкое электропотребление, оснащалась сменным 2/3" *CMOS*-датчиком. Однако для данной камеры не было моторизованной оптики *COTS*, позволяющей сконструировать систему камер со стереобазой, не превышающей 65 мм. Поэтому была выполнена разработка специальной моторизованной оптической системы ⁴.

Основными показателями при выборе комплектующих для стереоскопического дисплея *ERB-2* были разрешение (не менее 1280 × 720 пикселей) и энергопотребление (энергопотребление двух дисплеев не должно было превышать 14 Вт). При конструировании было сопоставлено несколько устройств отображения информации (*LCD*, *LCoS*, *OLED*), изготовленных по различным технологиям. В 2005 г. при конструировании *ERB-1* использовались *OLED*-дисплеи с разрешением 852 × 600 пикселей и к 2008 г. *OLED*-дисплеев с более высоким разрешением на рынке не появилось. Вместе с тем энергопотребление *LCD* и *LCoS HD*-дисплеев превышало приемлемое значение. Исходя из того что при энергопотреблении камеры 35–40 Вт (большинство из которых требовалось для захвата, сжатия и хранения видео) необходимо было обеспечить продолжительность работы *ERB-2* от аккумуляторной батареи не менее, чем у *ERB-1*, было принято решение использовать хорошо зарекомендовавшие себя в космическом полете *VGA OLED*-дисплеи ⁵.

³ Digital Stereoscopic Camera ERB-2 // <http://www.tsd-space.it/content/erb-2>.

⁴ The Erasmus Recording Binocular – 2 (ERB-2) // <https://iafastro.directory/iac/archive/browse/IAC-12/B3/3/14307/>.

⁵ Sabbatini, M., Visentin, G., Collon, M. Stereo Images from Space // Proceedings SPIE. Vol. 6803. Stereoscopic Displays and Applications XIX, 680315 (19 March 2008).

ERB-2 имела расширенный интерфейс: *HSSLI* для передачи в сжатом виде видеоизображения на стойку бортового оборудования *EDR*; *Ethernet* для получения телеметрии и осуществления режима телеуправления; интерфейс *RS422*, используемый для настройки камеры. Интерфейс ручного управления был реализован в виде 12 кнопок по краям верхней панели корпуса камеры.

Концепция дизайна разрабатывалась с учетом требования к использованию камеры в космосе и техническому обслуживанию на Земле. Габаритные размеры камеры составляли 398 × 270 × 186 мм.

3 февраля 2010 г. российским транспортным кораблем «Прогресс М-04М» *ERB-2* была отправлена на борт МКС. Первая 3D-трансляция из космоса на Землю в реальном времени состоялась 6 августа 2011 г. Технологическая цепь трансляции сигнала от МКС до Европейского центра исследований и технологий ЕКА в Нидерландах была успешно введена в действие. Астронавт НАСА Рон Гаранн впервые провел стереоскопический репортаж из космоса. 3D-изображение с *ERB-2*, находящейся на борту МКС, демонстрировалось через 3D-проектор в зале *ESTEC* ⁶.

Помимо достижения прямых целей экспериментов 3D-камеры *ERB* зарекомендовали себя как средство психологической разгрузки астронавтов на борту. Новые возможности видеосъемки вызвали интерес членов экипажей МКС. В свободное время они использовали камеры для съемки различных сюжетов на космической станции.

Проект *ERB* способствовал развитию методов и средств повышения качества стереоскопических изображений, созданию протоколов передачи данных, которые обеспечивают передачу сжатого стереосигнала в режиме реального времени, а также алгоритмов дистанционного управления видеокамерой при минимальном вмешательстве экипажа. Таким образом, разработанная и реализованная технология стала элементом будущих научно-технических экспериментов и операций на орбите. Проект позволил получить опыт по ряду направлений деятельности, связанных с использованием принципов «машинного зрения». К таким направлениям можно отнести внекорабельную деятельность космонавтов, робототехнические операции, операции сближения, стыковку и иные работы, предполагающие получение, передачу и обработку пространственной информации в реальном времени. Образцы разработанного оборудования и программное обеспечение нашли применение при совершенствовании методик подготовки экипажей и разработке тренажеров нового поколения. Кроме того, полученные стереоскопические видеоматериалы способствовали повышению общественного интереса к проекту Международной космической станции, пилотируемой космонавтике и научным исследованиям в целом.

⁶ Final Results of the Experiment ERB // <http://eea.spaceflight.esa.int/?pg=exprec&oid=12695&t=1>.

References

- Digital Stereoscopic Camera ERB-2, <http://www.tsd-space.it/content/erb-2>.
Final Results of the Experiment ERB, <http://eea.spaceflight.esa.int/?pg=expres&oid=12695&t=1>.
Sabbatini, M., Visentin, G., and Collon, M. (2008) Stereo Images from Space, *Proceedings SPIE. Vol. 6803. Stereoscopic Displays and Applications XIX*, 680315 (19 March 2008).
Sabbatini, M., Visentin, G., Collon, M., Ranebo, H., Sunderland, D., and Fortezza, R. (2007) Stereo Cameras on the International Space Station, *Proceedings SPIE. Vol. 6490. Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XIV*, 64901P (5 March 2007), pp. 1–6.
The Erasmus Recording Binocular – 2 (ERB-2), <https://iafastro.directory/iac/archive/browse/IAC-12/B3/3/14307/>.

Received: December 2, 2019.