

СОЗДАНИЕ ТРЕНАЖЕРА ПО ПОДГОТОВКЕ КОСМОНАВТОВ К ВЫПОЛНЕНИЮ ВИЗУАЛЬНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ С БОРТА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Е.В. Дедкова, Е.С. Юрченко, В.Е. Фокин

Е.В. Дедкова; Е.С. Юрченко; канд. техн. наук В.Е. Фокин
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Визуально-инструментальные наблюдения (ВИН) поверхности Земли являются особым видом деятельности космонавтов на борту Международной космической станции (МКС) и включают в себя операции поиска, обнаружения и наблюдения объектов невооруженным глазом и их регистрацию с помощью оптических средств, расширяющих возможности зрительного анализатора оператора. Для привития космонавту правильных навыков при подготовке к выполнению ВИН с борта РС МКС в наземных условиях требуется визуализировать изображение, видимое невооруженным глазом и/или в видоискателе фотокамеры с учетом оптического приближения, взаимного расположения космонавта, фотокамеры, иллюминатора и станции в определенной точке орбиты. Для этих целей было разработано специализированное тренажерное средство, имитирующее внешнюю визуальную обстановку, максимально приближенную к условиям полета на РС МКС, – тренажер подготовки космонавтов для решения задач в области геофизических исследований и мониторинга Земли методами визуально-инструментальных наблюдений «Тренажер ВИН».

Ключевые слова: визуально-инструментальные наблюдения, технические средства подготовки космонавтов, тренажер, объекты наблюдения, внешняя визуальная обстановка, оперативная память, регистрация объектов наблюдения, разрешение экрана, устройство визуализации, подстилающая поверхность Земли, зрительная система человека.

Creation of the Simulator to Train Cosmonauts for Visual Instrumental Observations from the International Space Station Using Up-to-Date Information Technologies. Ye.V. Dedkova, Ye.S. Yurchenko, V.Ye. Fokin

Visual Instrumental Observations (VIOs) of the Earth's surface is a very special activity for cosmonauts that include searching, finding, and monitoring the objects with the unaided eye and their registration using optical facilities expanding capabilities of an operator's visual analyzer. In order to impart the correct practical skills in performing VIOs from the ISS to cosmonauts in the course their ground training it is necessary to visualize the image observed by the naked eye and/or in the camera view finder taking into account an optical zoom, mutual location of a cosmonaut, a camera, a window, and the station at a certain point in

orbit. For these purposes, the special simulator which simulates an external visual environment as close as possible to the flight conditions has been developed, that is the VIOs simulator designated to train cosmonauts for performing tasks in the field of geophysical studies and monitoring of the Earth.

Keywords: Visual Instrumental Observations (VIOs), technical facilities for cosmonaut training, simulator, object under observation, external visual environment, random access memory, registration of the objects under observation, screen resolution, visualizer, the Earth's underlying surface, human vision system.

Общий объем экспериментов по направлению «Исследование Земли и космоса», связанных с геофизическими экспериментами и мониторингом Земли с борта российского сегмента Международной космической станции (РС МКС), осуществляемых методами визуально-инструментальных наблюдений (ВИН), составляет более 25 % от всего объема времени, затраченного на выполнение программы научно-прикладных исследований и экспериментов на РС МКС.

ВИН являются особым видом деятельности космонавтов на борту пилотируемого космического аппарата (ПКА) и включают в себя целый ряд задач, связанных с наблюдением природных и антропогенных объектов, явлений, происходящих в космосе, атмосфере, на земной и океанической поверхностях, а инструментами ВИН традиционно служат фотоаппараты (ф/а) линейки Nikon, видеокамеры и разнообразная спектральная аппаратура.

Процесс выполнения ВИН с борта ПКА включает в себя операции поиска, обнаружения, распознавания и наблюдения объектов подстилающей поверхности невооруженным глазом и с помощью оптических средств, расширяющих возможности зрительного анализатора космонавта, а также их регистрация [1, 5]. Как показывает практика, космонавты испытывают трудности с поиском объектов при выполнении задач, связанных с ВИН, преимущественно в своем первом космическом полете.

Ранее подготовка к выполнению экспериментов, связанных с ВИН, включала в себя работу с картами и отдельными космофотоснимками. Однако такие подходы к подготовке оказались малоэффективными, поскольку космонавту для уверенного ориентирования требовался значительный период адаптации, достигающий до двух месяцев от начала полета. С целью минимизации сроков выработки навыков ориентирования с борта МКС при поиске объектов наблюдения и выполнения ВИН на высоком профессиональном уровне требуется проведение соответствующей предполетной подготовки.

В системе подготовки космонавтов идет постоянный поиск новых форм и методов работы, которые помогли бы специалистам по подготовке космонавтов повысить эффективность процесса подготовки. С развитием современных информационных технологий появилась возможность решения данной проблемы путем создания специализированного тренажера по подготовке космонавтов к выполнению ВИН («Тренажер ВИН») [2, 7]. Для этого был проведен анализ условий и учет факторов, влияющих на качество про-

ведения ВИН с борта МКС, а именно: баллистических условий полета, конструктивных особенностей станции, наличия атмосферной дымки и облачности, светотеневой обстановки на орбите, личных качеств оператора, бега подстилающей поверхности [3, 6]. В итоге были сформулированы требования и разработано техническое задание на создание тренажера, имитирующего визуальное представление подстилающей поверхности Земли, максимально адекватной к условиям наблюдения с борта МКС.

Поиск объекта, находящегося на земной поверхности с высоты 400 км, представляет достаточно сложную задачу. Процесс выполнения ВИН можно условно разделить на 2 зоны, показанные на рисунке 1: зона обнаружения и зона фотосъемки.

Зона обнаружения ограничена по трассе полета углом, равным 45–60° от надира. Следовательно, на земной поверхности зона для поиска и обнаружения заданных ориентиров и объектов ограничена окружностью с центром в подспутниковой точке и радиусом, равным 400–600 км.

Зона фотосъемки для получения качественных изображений ограничена углом, составляющим $\pm 30^\circ$ от надира, что соответствует окружности радиусом 200–230 км ($125\ 000$ – $160\ 000$ км² на местности).

Для поиска конкретного объекта и получения его фотоизображения космонавт располагает менее одной минуты (от момента появления объекта в зоне видимости до его ухода из поля зрения). За это время в рабочей зоне обнаружения, соответствующей площади местности на земной поверхности от 500 000 до 1 100 000 км², космонавту невооруженным глазом необходимо найти ориентиры, выполнить наведение в область нахождения объекта и осуществить съемку с использованием оптического средства регистрации в зоне фотосъемки.

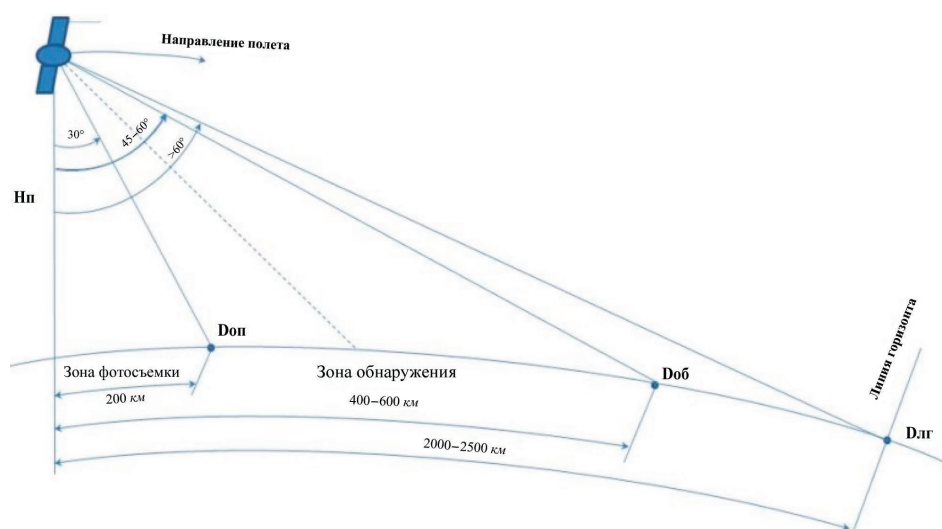


Рис. 1. Рабочие зоны процесса выполнения ВИН

Угловая разрешающая способность зрительной системы человека при нормальном зрении и оптимальных условиях освещенности в среднем равна $1'$. Линейное разрешение глаза на местности при наблюдении подстилающей поверхности с высоты 400 км через иллюминатор в надир равно 120 м (при абсолютном контрасте). При отклонении линии визирования от надира на углы 30° , 45° и 60° линейное разрешение глаза на местности будет равно соответственно 152 , 233 и 434 м . С учетом реальных контрастов подстилающей поверхности, перспективных искажений и кривизны Земли линейное разрешение будет существенно хуже указанных значений [4].

Первым и основным требованием, предъявленным к будущему тренажеру, стало требование максимальной адекватности, т.е. приближенное к возможностям зрительной системы человека. Это может быть достигнуто при использовании в составе тренажера устройства визуализации изображения с расширенным полем охвата и позволяющим получить разрешение подстилающей поверхности не хуже, чем 120 м/пиксель .

Принимаем, что космонавт с высоты 400 км при углах обзора $\pm 45^\circ$ от надира оптимально наблюдает полосу на местности по ширине, равную 800 км (рис. 2).



Рис. 2. Полоса обзора поверхности Земли с орбиты 400 км

На рисунке 3 показан наблюдатель, смотрящий на экран, на котором смитировано изображение подстилающей поверхности Земли с высоты 400 км . Для примерных расчетов считаем обозреваемый участок земной поверхности условно плоским. Введем следующие обозначения: высота полета МКС это $L = 400\,000 \text{ м}$, l – расстояние от наблюдателя до экрана (в метрах), W – ширина полосы поверхности Земли, наблюдаемой в имитатор иллюминатора на экране монитора (в метрах), ω – ширина экрана (в метрах), α – половина угла обзора, FOV «Field of view» – угол обзора по ширине экрана (в градусах):

$$FOV = 2\alpha. \quad (1)$$

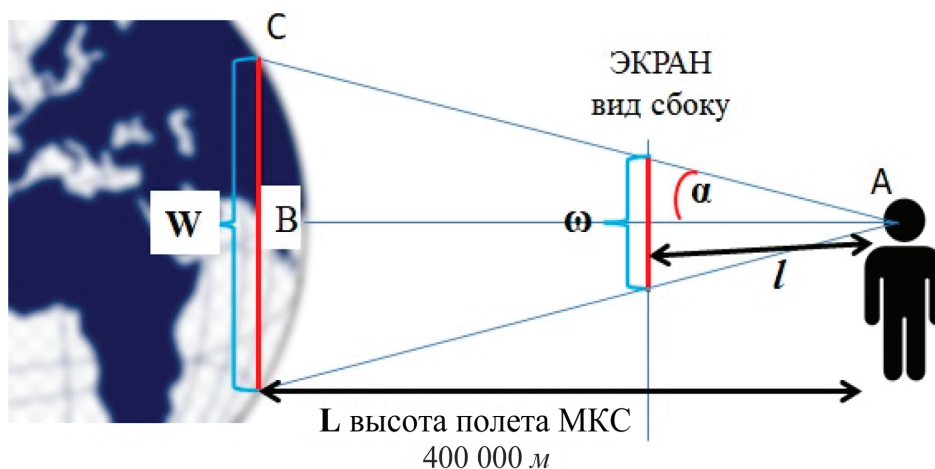


Рис. 3. Схема расчета параметров устройства визуализации

Для расчета параметров, которыми должно обладать устройство визуализации тренажера, весомое значение имеет величина, характеризующая плотность текстуры космических изображений TD_{mpx} (в метрах/пиксель). Также существует обратная величина $TD = \frac{1}{TD_{mpx}}$, измеряемая в пиксель/метр, это разрешающая способность или качество, чем она выше, тем лучше. С параметрами «разрешение текстуры» и «разрешение экрана» связан термин N_{px} – количество пикселей экрана по ширине, характеризующий разрешение устройства отображения.

Исходя из того, что на рисунке 3 $\triangle ABC$ является прямоугольным треугольником, находим:

$$tg \alpha = \frac{BC}{AB} = \frac{W/2}{L} = \frac{W}{2 \cdot L} = \frac{TD_{mpx} \cdot N_{px}}{2 \cdot L}. \quad (2)$$

Учитывая формулы (1) и (2), выразим параметр N_{px} :

$$N_{px} = \frac{2 \cdot tg \frac{FOV}{2} \cdot L}{TD_{mpx}}. \quad (3)$$

Таким образом, разрешение устройства отображения (N_{px}), которое бы позволило наблюдать невооруженным глазом полосу 800–1200 км при углах обзора 90°–120° и разрешением текстуры 120 м/пиксель, располагается в диапазоне 6667–11 533 px. Полученные значения стали вторым требованием, предъявленным к будущему тренажеру.

Опытным путем было установлено, что при автоматической настройке штатного ф/а Nikon D850 с объективом 400–800 мм, расстояние, на котором ф/а автоматически фокусируется на наблюдаемой поверхности, составляет 1,7 метра. Для обеспечения условий устойчивой настройки автоматической фокусировки ф/а и угла обзора в 90°, устройство отображения должно располагаться на расстоянии 2 м от оператора. Соблюдение данного параметра является третьим требованием, предъявленным к будущему тренажеру.

В результате предложена структура тренажера, устройством визуализации которого является видеостена, состоящая из девяти телевизионных панелей с разрешением 4К, диагональю 75 дюймов каждая, имеющая суммарное разрешение 11 520 на 6480 пикселей. Результаты расчетов показывают, что при такой конфигурации плотность текстуры с высоты 400 км и количеством пикселей по ширине 11 520 пикселей, будет равна 70 м/пиксель (рис. 4).

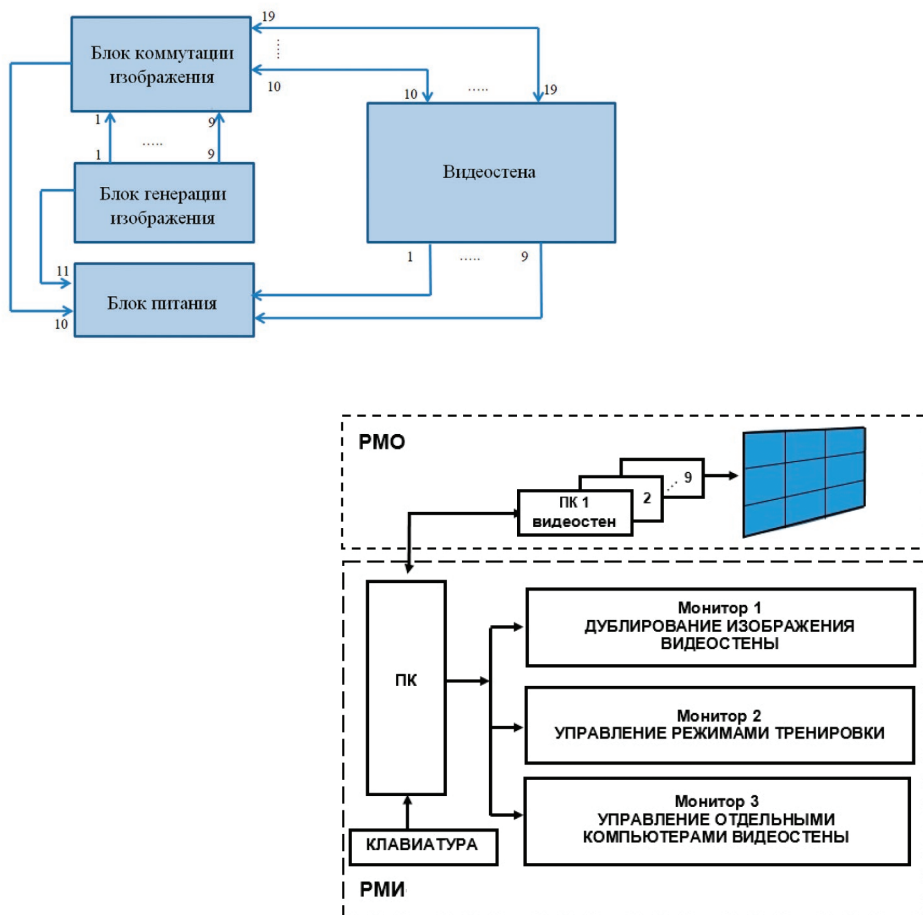


Рис. 4. Схема стенда «Тренажер ВИН»

Созданный космический «Тренажер ВИН» является уникальным и не имеет аналогов в мире (рис. 5).

В процессе подготовки космонавтов на «Тренажере ВИН» инструктор имеет возможность задавать условия тренировки с учетом факторов, влияющих на выполнение процесса наблюдения, технически реализованных в средстве управления средой визуализации тренажера. Кроме того, данный тренажер позволяет использовать при подготовке космонавтов бортовую фотоаппаратуру.

Тренажер позволяет:

1. Имитировать поверхность Земли с адекватным разрешением.
2. Задавать любое наклонение орбиты от 0° до 100° .
3. Отображать подстилающую поверхность до 85° по широте.
4. Использовать при подготовке штатную аппаратуру.
5. Отображать факторы, ухудшающие условия наблюдения и спецэффекты (пожары, пылевые бури, извержение вулканов).
6. Сократить сроки выработки навыков ориентирования и выполнения в полете задач ВИН со среднестатистических 2 месяцев до 3 недель.

По предварительным оценкам, проведение тренировок с использованием «Тренажера ВИН» позволило повысить вероятность обнаружения объектов наблюдения с борта МКС с 0,75 до 0,89 [6].

Данные подходы применимы при разработке и создании тренажеров для подготовки космонавтов по перспективным космическим программам, в том числе при полетах к Луне.



Рис. 5. Общий вид «Тренажера ВИН»

Выводы

Для успешного решения задач обучения и подготовки космонавтов необходимо формирование адекватной и максимально приближенной к его работе модели деятельности в космическом полете. Для выработки навыков устойчивого ориентирования на поверхности Земли необходимо проводить практическую подготовку космонавтов, которая позволяет парировать отрицательные факторы, негативно сказывающиеся на процессе ВИН. Для этих целей был разработан «Тренажер ВИН», средство визуализации которого максимально адекватно отображает подстилающую поверхность при наблюдении невооруженным глазом. Кроме того, данный тренажер позволяет использовать при подготовке космонавтов бортовую фотоаппаратуру, моделируя процесс выполнения ВИН в полном объеме.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Использование российских данных ДЗЗ при подготовке к выполнению визуально-инструментальных наблюдений с борта МКС / Васильева Н.В., Фокин В.Е., Андронов Д.П., Иванов С.В., Кузнецов О.В., Кушнырь О.В. // Сборник информационных материалов (научно-практический журнал) «Дистанционное зондирование Земли из космоса в России». – 2019. – Вып. № 2. – С. 60–66.
- [2] Применение современных информационных технологий при подготовке космонавтов к выполнению визуально-инструментальных наблюдений земной поверхности с борта РС МКС / Васильев В.И., Васильева Н.В., Фокин В.Е. и др. // Пилотируемые полеты в космос. – 2015. – № 3(16). – С. 83–91.
- [3] Цветовые измерения в космосе / Рюмин О.О., Савиных В.П., Фокин В.Е. и др. – М.: Машиностроение, 1996. – 176 с.
- [4] Оценка характеристик обнаружения и распознавания объектов на изображении от специальных оптико-электронных систем наблюдения летного поля / Сельвесюк Н.И., Веселов Ю.Г., Гайденков А.В., Островский А.С. // Труды МАИ. – 2018. – № 103. – С. 21–26.
- [5] Kuritsyn A.A., Lonchakov Yu.V., Kornienko M.B., Sivolap V.A., Sokhin I.G., Kovinsky A.A. Main Results of Training and Activity of the ISS-43/44/45/46 Expedition When Carrying out the One-year Mission Plan Aboard the ISS RS. 67th International Astronautical Congress – 2016, Guadalajara, Mexico, IAC Paper, IAC-16. V3.5.3x32131.
- [6] Проектирование стенда-тренажера для подготовки космонавтов к выполнению визуально-инструментальных наблюдений / Васильева Н.В., Дедкова Е.В., Кутник И.В., Фокин В.Е., Чуб Н.А., Юрченко Е.С. // Вестник Московского авиационного института. – 2021. – Т. 28. – № 1. – С. 115–125.
- [7] Система подготовки космонавтов в Российской Федерации. Монография / Курицын А.А., Харламов М.М., Хрипунов В.П. – Звездный городок: ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2020. – 318 с.

REFERENCES

- [1] The Use of Russian Remote Sensing Data in Preparation for Carrying out Visual and Instrumental Observations From the ISS / Vasilyeva N.V., Fokin V.E., Andronov D.P.,

- Ivanov S.V., Kuznetsov O.V., Kushnyr O.V. // Journal of Research and Practice “ Remote sensing of the Earth from space in Russia”. – 2019. – Issue No 2. – pp. 60–66.
- [2] Application of Modern Information Technologies in Cosmonaut Training for Visual-Instrumental Observations of the Earth’s Surface From the Board of the ISS RS / Vasilyev V.I., Vasilyeva N.V., Fokin V.E. et al. // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2015. – No 3(16). – pp. 83–91.
- [3] Space Color Measurements / Ryumin O.O., Savinykh V.P., Fokin V.E. et al. – Moscow: Mashinostroyenie Publ., 1996. – p. 176.
- [4] Performance Evaluation of Objects Detection and Identification on an Image From Special Optoelectronic Systems for Airfield Observations / Selvesyuk N.I., Veselov Yu.G., Gaidenkov A.V., Ostrovsky A.S. // Trudy MAI. – 2018. – No 103. – pp. 21–26.
- [5] Kuritsyn A.A., Lonchakov Yu.V., Kornienko M.B., Sivolap V.A., Sokhin I.G., Kovinsky A.A. Main Results of Training and Activity of the ISS-43/44/45/46 Expedition When Carrying out the One-year Mission Plan Aboard the ISS RS. 67nd International Astronautical Congress – 2016, Guadalajara, Mexico, IAC Paper, IAC-16. B3.5.3x32131.
- [6] Designing a Simulator for Training Cosmonauts to Perform Visual and Instrumental Observations / Vasilyeva N.V., Dedkova E.V., Kutnik I.V., Fokin V.E., Chub N.A., Yurchenko E.S. // Scientific Journal “Aerospace MAI Journal”. – 2021. – V. 28. – No 1. – pp. 115–125.
- [7] Cosmonaut Training System in the Russian Federation. Monograph / Kuritsyn A.A., Kharlamov M.M., Khripunov V.P. – Star City: Yu.A.Gagarin Test&Research CTC, 2020. – p. 318.