

НАЗЕМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ, СТАРТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

УДК 629.79.007:004.3

DOI: 10.34759/vst-2021-1-115-125

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. *******

*Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина
(НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина),
Звездный городок, Московская область, 141160, Россия*

** e-mail: N.Vasileva@gctc.ru*

*** e-mail: E.Dedkova@gctc.ru*

**** e-mail: I.Kutnik@gctc.ru*

***** e-mail: V.Fokin@gctc.ru*

****** e-mail: N.Chub@gctc.ru*

****** e-mail: E.Yurchenko@gctc.ru*

Статья поступила в редакцию 25.11.2020

Визуально-инструментальные наблюдения Земли из космоса (ВИН) являются одним из наиболее информативных методов дистанционного зондирования Земли, используемых в пилотируемой космонавтике. Они предназначены для наблюдения за природными и антропогенными объектами, явлениями, происходящими в космосе, атмосфере, на земной и океанической поверхности (образование циклонов и зарождение тайфунов, вулканическая активность, грозы, лесные пожары, биопродуктивные зоны в океане, процессы в верхних слоях атмосферы и пр.) [4, 5, 17]. Опыт подготовки отечественных космонавтов к выполнению ВИН свидетельствует о важности организации этого процесса на всех этапах [12].

Ключевые слова: визуально-инструментальные наблюдения, дистанционное зондирование Земли, технические средства подготовки космонавтов, внешняя визуальная обстановка, регистрация объектов наблюдения, информационные критерии, характеристики оператора, адаптивные свойства оператора.

Введение

Подготовка космонавтов по данному направлению должна представлять собой учебно-тренировочный процесс, ориентированный на освоение космонавтами теоретических основ экспериментальных исследований по актуальным проблемам наук о Земле, изучение физико-географических особенностей территорий и приобретение необходимых навыков и умений по поиску и опознаванию изучаемых объектов и практическому применению бортовой аппаратуры дистанционного зондирования геосистем [2].

Выбор направлений исследований на борту российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) базируется на основных положениях Федеральной космической программы России, предусматривающей изучение земной поверхности, исследование и освоение Луны, наблюдения за различными процессами и явлениями как на земной, так и на лунной поверхности [1]. Исследование Земли с борта МКС осуществляется в рамках космических экспериментов и другими международными партнерами по данному проекту [6–10].

Увеличение объемов таких исследований на МКС выдвигает повышенные требования к подготовке экипажей МКС по данному направлению на всех этапах подготовки к космическому полету. Прежде всего, они заключаются в необходимости теоретической подготовки, а также проведении практических занятий и тренировок с использованием информационных ресурсов специализированных тренажеров, моделирующих визуальную обстановку в условиях полёта на РС МКС [2, 13, 21] и учебно-тренировочных полетов для аэровизуальных наблюдений тестовых участков суши и моря [3]. Для подготовки космонавтов к выполнению ВИН также используются специальные самолеты-лаборатории, на которых прививаются практические навыки и умения выполнения ВИН [3].

Данная технология подготовки космонавтов будет использована и для подготовки экипажей лунных экспедиций.

Актуальность работы обусловлена отсутствием комплекса информационных и технических средств подготовки космонавтов, который был бы способен обеспечить эффективную и качественную подготовку космонавтов для решения задач в области геофизических исследований и мониторинга Земли с борта РС МКС. Основным недостатком имевшихся средств являлось то, что ни одно из них не обеспечивало отработку необхо-

димых операторских навыков при выполнении ВИН. В процессе разработки и создания стенда-тренажера для подготовки космонавтов к выполнению ВИН проведен всесторонний анализ специфических особенностей и условий выполнения визуально-инструментальных наблюдений, характеристик используемой научной аппаратуры, а также имеющегося опыта подготовки космонавтов к выполнению ВИН [20]. Для оценки качества стенда-тренажера по показателям функционально-методической полноты и параметрической адекватности была учтена структура деятельности космонавтов при выполнении ВИН с борта РС МКС. Кроме того, проведенный анализ позволил сформировать требования к модели деятельности космонавта, с воспроизведением соответствующих информационных, физических и психических нагрузок.

Особенности проведения ВИН с борта МКС

Процесс выполнения ВИН с борта пилотируемого космического аппарата (ПКА) состоит из операций поиска, обнаружения и наблюдения объектов подстилающей поверхности, как невооруженным взглядом, так и с помощью оптических средств, расширяющих возможности зрительного анализатора космонавта, а также регистрации их изображений [4, 5].

На качество проведения ВИН с борта ПКА оказывает влияние ряд факторов:

- баллистические условия полета;
- свето-теневая обстановка на орбите;
- наличие яркостного стимула-помехи (блик);
- атмосферная дымка;
- облачность любого типа;
- ухудшение частотно-контрастных и цветовых характеристик сцены в видеоискателе средств регистрации;
- резкое уменьшение угла поля зрения при переходе от наблюдения через иллюминатор к наблюдению с помощью средств регистрации;
- наличие в поле зрения элементов конструкции модулей орбитальной станции.

На РС МКС космонавт при наблюдении через иллюминатор невооруженным глазом видит поверхность Земли от горизонта до горизонта.

Для моделирования процесса проведения ВИН на тренажере рассмотрим основные параметры проведения ВИН с борта РС МКС.

Геометрические соотношения между основными параметрами съемки в визирной плоскости, перпендикулярной вектору путевой скорости ПКА, показаны на рис. 1 [11].

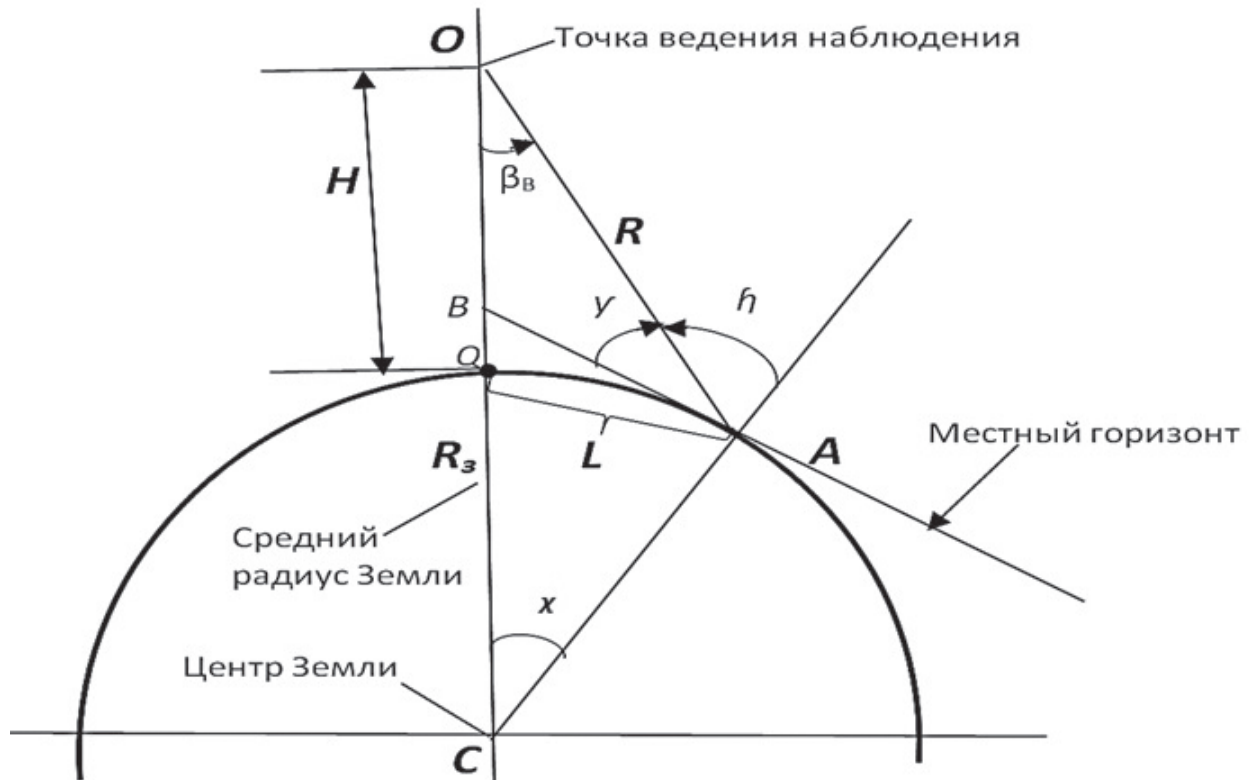


Рис. 1. Геометрическое соотношение в визирной плоскости

Исходной величиной в расчетах геометрических параметров для проведения ВИН служит *угол визирования* β_B , лежащий в плоскости визирования между направлением местной вертикали (точка Q) и направлением на центр объекта съемки (точка прицеливания A).

Угол наклона γ , отсчитываемый от плоскости местного горизонта, включающей точку A , до линии визирования OA , находится из треугольника AOC и теоремы синусов:

$$\frac{(R_3 + H)}{\sin(90 + \gamma)} = \frac{R_3}{\sin \beta_B}. \quad (1)$$

Угол падения η равен углу визирования β_B для модели плоской Земли. В модели сферической Земли η превышает β_B , причем с увеличением угла визирования это превышение растет. При проведении фотосъемок и обработке изображений в оптическом диапазоне наилучшие результаты в части пространственного разрешения достигаются при η , близких к нулю. Поскольку $\eta = 90^\circ - \gamma$, то

$$\eta = \arcsin \left[\left(1 + \frac{H}{R_3} \right) \sin \beta_B \right]. \quad (2)$$

Из рис. 1 можно вывести расчетное соотношение для *наклонной дальности* R , которая определяется как отрезок, соединяющий точку O с точкой прицеливания A на поверхности шарообразной Земли:

$$R = R_3 \frac{\cos(\beta_B + \gamma)}{\sin \beta_B}. \quad (3)$$

Обозначим длину дуги, замыкающую центральный угол χ на поверхности Земли (рис. 1), символом L . Практический смысл этой величины состоит в том, что она характеризует расстояние на поверхности сферы Земли от опорной точки Q до точки прицеливания A . Этот параметр используется для расчетов рабочей полосы обзора. Из определения дуги центрального угла имеем $L = R_3 \chi$ или

$$L = R_3 \left[\frac{\pi}{2} - (\beta_B + \gamma)_{\text{рад}} \right]. \quad (4)$$

Рекомендуемые рабочие зоны при выполнении ВИН показаны на рис. 2.

Зона фотосъемки ограничена углом визирования $\beta_{\phi} = 30^\circ$ (от направления в надир), что обеспечивает получение качественных снимков. Зона

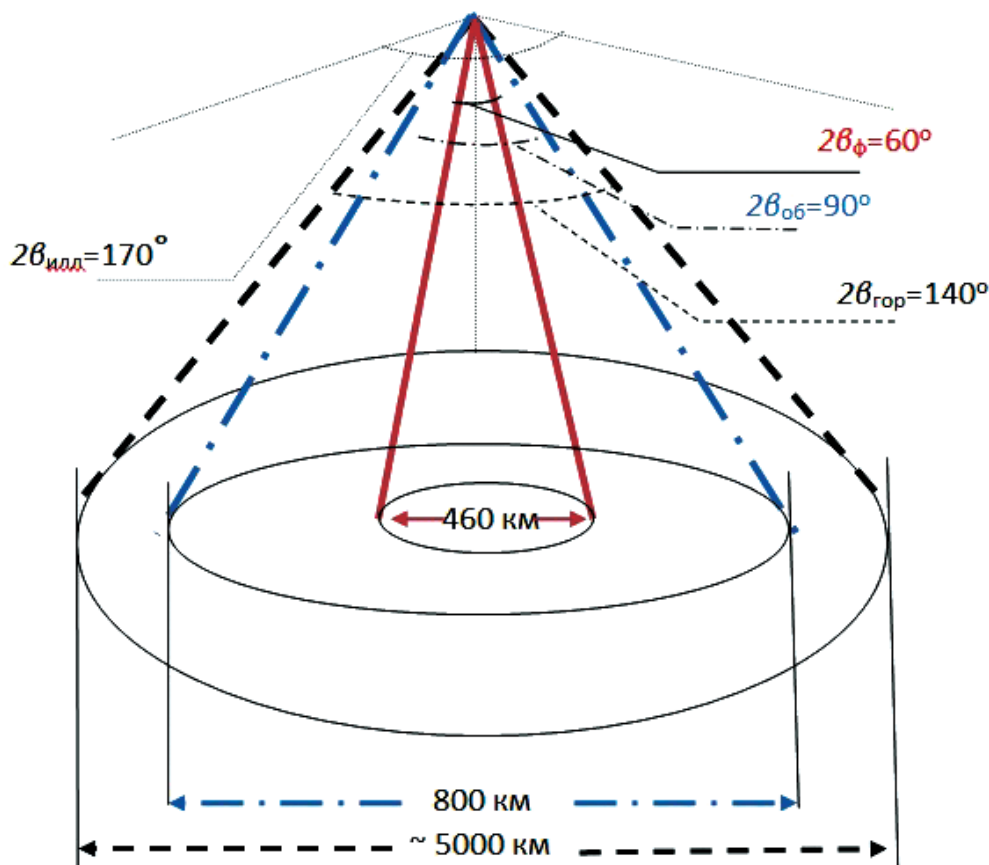


Рис. 2. Углы полей зрения при наблюдении Земли с борта МКС невооруженным глазом через иллюминатор: $2\beta_{\text{илл}}$ – угол поля зрения иллюминатора; $2\beta_{\text{гор}}$ – угол поля зрения от горизонта до горизонта; $2\beta_{\text{об}}$ – угол поля зрения полосы обнаружения; $2\beta_{\text{ф}}$ – угол поля зрения полосы распознавания и фотосъемки объекта

обнаружения ограничена углом визирования $\beta_{\text{об}} = 45^\circ$ (от направления в надир). Это значение установлено в связи с тем, что при больших углах наблюдения образующаяся дымка существенно препятствует обнаружению объектов.

Отраженное поверхностью Земли излучение за пределами зоны обнаружения, ограниченной углом 45° от направления в надир, играет роль помехи, которая воздействует на боковое зрение космонавта, превышающее поле зрения иллюминатора ($2\beta_{\text{илл}} = 170^\circ$). Известно, что боковое зрение человека (по сравнению с центральным) имеет существенно меньшее разрешение, но более чувствительно к перемещению объектов [16, 18].

Распределение яркостей отраженного от поверхности излучения зависит от типа поверхности, угла Солнца над горизонтом, наличия облачных полей и ряда других факторов. Кроме того, в поле зрения космонавта при наблюдении с орбиты возможно попадание ореола Земли и части космического пространства. Непрерывное движение подобной картины в «конусе обзора Земли», вер-

шина которого перемещается по орбите с первой космической скоростью, оказывает дезориентирующее влияние на глазодвигательную деятельность зрительного анализатора космонавта и требует достаточно длительного времени на адаптацию и выработку навыка целенаправленного поиска заданного объекта. Воздействие этой помехи может быть существенно до тех пор, пока у космонавта не выработается навык дистанцироваться от нее.

Угловая разрешающая способность глаза 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 равно 150 м (при абсолютном контрасте). Отклонение линии визирования от надира на углы 30° , 45° (в соответствии с рабочими зонами на рис. 2) ухудшает линейное разрешение глаза на местности, которое (по законам геометрической оптики) будет равно соответственно 150, 170 и 342 м. С учетом реальных контрастов подстилающей поверхности, перспективных искажений и кривизны Земли линейное разрешение будет хуже указанных значений [20, 21].

Создание стенда-тренажера для подготовки космонавтов к выполнению ВИН

Научно-технологическое развитие ведущих отраслей является одной из приоритетных задач на мировом рынке. Для ракетно-космической отрасли в современных условиях все острее встает вопрос о ее переходе на инновационный путь развития и более активном использовании в космической деятельности высоких технологий [2, 17].

В системе подготовки космонавтов идет постоянный поиск новых форм и методов работы, которые помогли бы специалистам по подготовке космонавтов повысить эффективность этого процесса [12].

Одним из путей решения данной задачи является создание технических средств подготовки космонавтов (ТСПК) на основе использования современных цифровых (компьютерных) технологий.

В 2013 году в штатную эксплуатацию введен специализированный стенд «Тренажер ВИН», обеспечивающий подготовку космонавтов для решения задач визуально-инструментальных наблюдений и мониторинга Земли с борта РС МКС. Тренажер базируется на имитации внешней визуальной обстановки и позволяет отображать цифровую визуальную модель Земли [13].

Структурно «Тренажер ВИН» представляет собой три функциональные зоны, объединенные единым информационным пространством: зона тренировки; лекционная зона; методическая зона.

Для отработки задач визуальных наблюдений установлены макеты иллюминаторов (рис. 3). Специальное программное обеспечение рабочего места оператора, при помощи которого осуществляется имитация внешней визуальной обстановки, позволяет отображать цифровую визуальную модель Земли. Реализована возможность наложения облачности и дымки разного уровня таким образом, что оператор может регистрировать параллактическое смещение облаков относительно земной поверхности.

Имеющиеся системы отображения внешней визуальной обстановки на стенде «Тренажер ВИН» и в системе имитации внешней визуальной обстановки тренажера РС МКС при обзоре полосы наблюдения 800 км позволяют отображать земную поверхность с разрешением хуже 350 м на пиксел для невооруженного глаза. В то же время с высоты 400 км человек различает подстилающую поверхность с разрешением 150 м на пиксел в надире [13].

Чтобы достичь адекватного восприятия наблюдаемых объектов, необходимо расширить поле охвата системы отображения в несколько раз.

С этой целью предлагается поле отображения внешней визуальной обстановки реализовать в виде видеостены размером 4×2,5 м. Это позволит создать условия наблюдения земной поверхности с разрешением до 150 м на пиксел, являющиеся адекватными условиям наблюдения с борта РС МКС (рис. 4).



Рис. 3. Зона тренировки «Тренажера ВИН»

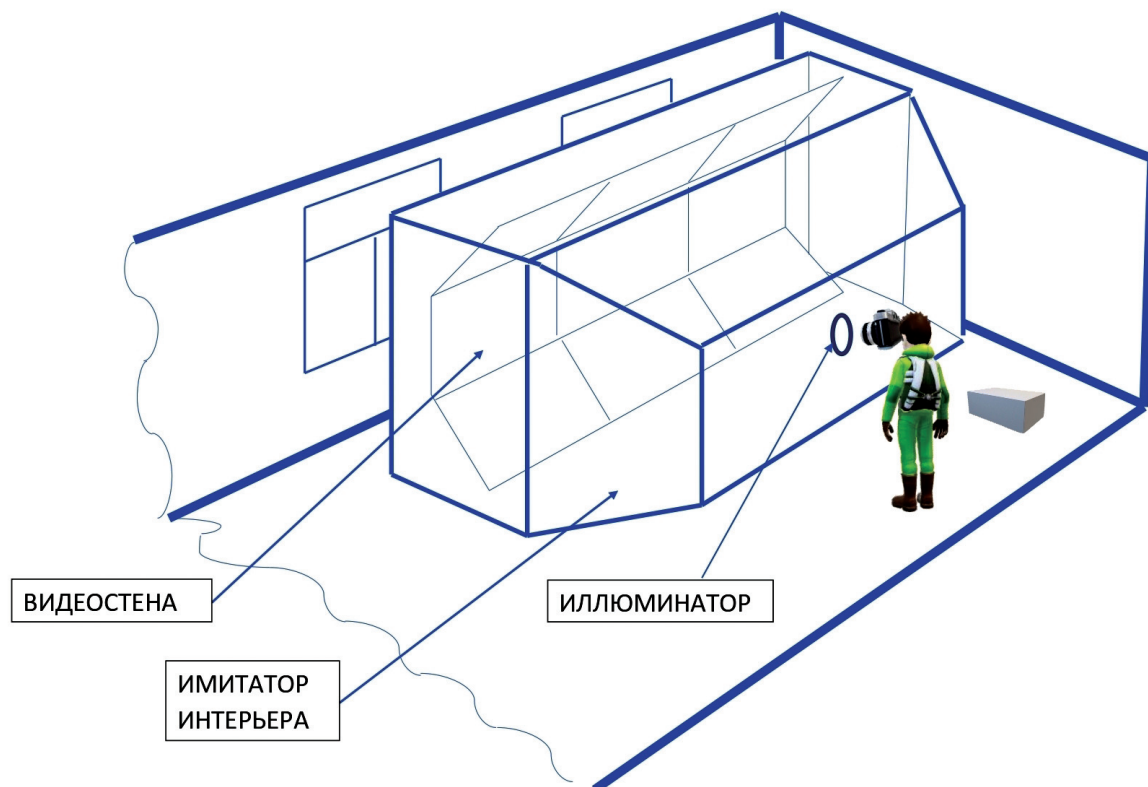


Рис. 4. Визуализация поверхности Земли с использованием видеостены

Поскольку видеостена будет располагаться на расстоянии 1,5—2 м от наблюдателя (иллюминатора), то возникают необходимые условия настройки научной аппаратуры при регистрации объектов наблюдения. На ширме должен устанавливаться имитатор иллюминатора диаметром 420 мм со штатными элементами крепления научной аппаратуры, что даст возможность через кронштейны (адаптеры) штатно монтировать на нем научную аппаратуру.

Применение «Тренажера ВИН» позволяет не только сформировать, но и оценить приобретенные навыки кандидатов в космонавты и космонавтов по обнаружению и распознаванию ориентиров и типовых объектов данного региона, установить уровень их географических знаний, а также способностей к дешифрированию и привязке к ориентирам, ведению профессионального репортажа.

Тестируемые на «Тренажере ВИН» параметры и навыки:

- оперативная память на географические названия и образы объектов;
- поиск, обнаружение и регистрация заданных географических объектов в условиях орбитального движения;

- возможность космонавта (далее по тексту оператора) вести рассказ о выполняемых действиях и наблюдаемых объектах на земной поверхности;
- управление наведением на объект, точность и качество его регистрации с помощью джойстика;
- точность сопровождения объекта наблюдения.

Реализация предложенных технических решений позволит значительно повысить качество подготовки космонавтов к проведению ВИН благодаря более адекватному отображению наблюдаемой поверхности.

Оценка информационных критериев подобия «Тренажера ВИН»

Для формулировки информационных критериев подобия тренажера визуальных наблюдений и частоты выдаваемого сигнала важное значение имеет передаточная функция космонавта при работе на «Тренажере ВИН» при восприятии информации по зрительному каналу.

Передаточные функции космонавта определяются его психофизиологическими особенностями и свойствами контура управления, в котором он работает. Так как ПКА можно отнести к стационарному контуру управления, то передаточная

функция космонавта при восприятии информации по зрительному каналу и передаче сигналов на органы управления имеет вид [14]

$$W_o(s) = \frac{ke^{-\tau s}(a\tau_1 s + 1)}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}, \quad (5)$$

где k – коэффициент усиления;

τ – время формирования ответной реакции на входной сигнал;

τ_1 – постоянная времени, характеризующая время, затраченное на выполнение поиска и фиксацию объекта наблюдения;

τ_2 – постоянная времени, характеризующая передачу сигналов по нервным волокнам;

a – коэффициент, учитывающий тренированность, опыт космических полетов, утомление, сложность задания.

Для разных частот поступления задач на «Тренажере ВИН» параметры передаточной функции принимают различные значения, что указывает на адаптивные свойства оператора. Оператор, работая в контуре управления, адаптируется путем изменения параметров τ_1 , τ_2 и k , стремясь к минимизации средней квадратичной ошибки и поддержанию запаса по фазе порядка 40° [15].

Параметры τ , τ_2 связаны с характеристиками оператора и зависят от частоты поступающего сигнала, применительно к оператору-летчику они представлены в таблице [15].

Частота сигнала	τ	τ_2
0,16	0,15	0,67
0,32	0,20	0,22
0,48	0,25	0,009

Значение постоянной τ_1 определено опытным путем. Применительно к «Тренажеру ВИН» среднее время, затрачиваемое на поиск объекта, у неопытного оператора составляет 14,7 с, у опытного космонавта, прошедшего подготовку к полету на ПКА, данный параметр составляет 7,9 с [14].

Оценка эффективности использования тренажера

Оценить эффективность использования «Тренажера ВИН» при подготовке космонавтов можно по следующим показателям качества [14]:

1. *Уровень подготовки a* (степень тренированности) космонавтов ПКА за заданное время. При рассмотрении передаточной функции (5) степень тренированности космонавта характеризуется коэффициентом a . Этот коэффициент в процессе обучения возрастает и достигает некоторого предельного значения a_{TP} , при котором процесс обучения считается законченным, требуется поддерживать степень тренированности на необходимом уровне. Нарастание степени тренированности при постоянном процессе подготовки космонавта к выполнению ВИН происходит по экспоненциальному закону [14]. Передаточная функция, характеризующая процесс подготовки в соответствии с экспериментальными данными, может быть представлена в виде инерциального звена:

$$W_{об}(s) = \frac{1}{(\tau_0 s + 1)}, \quad (6)$$

где τ_0 – постоянная времени подготовки космонавтов к выполнению ВИН, составляющая в среднем 25 дней (данное значение применительно к подготовке по отдельному виду деятельности).

Таким образом, коэффициент тренированности (если оценивать его по пятибалльной системе) при подготовке на «Тренажере ВИН» в соответствии с передаточной функцией $W_{об}(s)$ можно представить в виде (рис. 5)

$$a(s) = \frac{a_0}{(\tau_0 s + 1)}, \quad (7)$$

где a_0 – предельное значение коэффициента тренированности.

2. *Длительность подготовки T* . Транспортный пилотируемый корабль «Союз» и МКС делают в течение суток 16 витков вокруг Земли. Типовая программа подготовки космонавтов к выполнению ВИН включает в себя 16 занятий по изучению 16 суточных витков полета, плюс 4 подготовительных занятия. Таким образом, длительность подготовки T на «Тренажере ВИН» одного космонавта составляет 20 тренировок по 2 часа, т.е. $T = 40$ часов.

3. *Количество обучаемых космонавтов N* в заданное время (пропускная способность тренажера). С учетом того, что длительность подготовки T на «Тренажере ВИН» составляет 40 часов, в году около 2000 рабочих часов, получаем

$$N = 2000 / (40k), \quad (8)$$

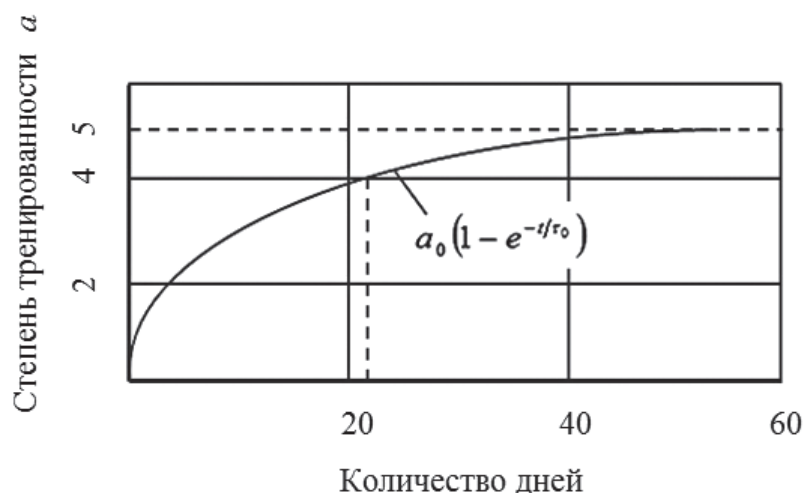


Рис. 5. Характеристика степени тренированности космонавтов a в зависимости от времени (при непрерывной подготовке)

где k – коэффициент, учитывающий время на подготовку тренажера к работе, проведение регламентных работ, применительно к «Тренажеру ВИН» $k = 2,5$. Таким образом, пропускная способность тренажера (одного рабочего места) N составляет 20 космонавтов в год.

4. Вероятность безотказной работы тренажера P определяется как отношение проведенных сеансов работы тренажера с учетом его отказов к общему числу запланированных сеансов работы. По итогам эксплуатации тренажера данный показатель P составляет около 99%.

5. Время настройки тренажера на новые задачи подготовки T_n . Перевод тренажера на новые задачи подготовки заключается в перенастройке нового программного обеспечения тренажера и его тестировании. Данная процедура занимает не более одной недели.

Выводы

Развитие РС МКС, увеличение числа научно-прикладных исследований и экспериментов, проводимых космонавтами на его борту, актуализирует тему обеспечения качественной подготовки космонавтов к выполнению научной программы. Совершенствование современных информационных (компьютерных) технологий позволяет применять новые методы и способы подготовки космонавтов.

Одним из путей решения данной задачи является модернизация ТСПК на основе использования современных цифровых (компьютерных) технологий. Создание тренажера подготовки космонавтов к выполнению ВИН на основе использования цифровой модели поверхности Земли по-

зволяет повысить эффективность и качество подготовки космонавтов к выполнению космического полета на борту МКС.

Данные подходы применимы для подготовки космонавтов по перспективным космическим программам, в том числе по программам полетов к Луне и окололунному пространству.

Библиографический список

1. Федеральная космическая программа России на период 2016-2025 годы, <http://www.federspace.ru>
2. Kuritsyn A.A., Lonchakov Yu.V., Kryuchkov B.I. et al. New Approaches to Cosmonaut Training on the Program of Scientific-Applied Research and Experiments Aboard the ISS Russian Segment // 66th International Astronautical Congress – 2015 (12-16 October 2015; Jerusalem, Israel). Paper No. IAC-15.B3.5.2x28425. URL: IAC-15,B3,5,2,x28425.brief.pdf
3. Vasiliev V.I., Vlasov P.N., Kud-Sverchkov S.V. et al. Experience in Training Cosmonauts for Visual Instrumental Observations from the ISS Using the Flying Laboratory // 70th International Astronautical Congress – 2019 (21-25 October 2019; Washington D.C., USA). Paper No. IAC-19, B3.5.4x49668.
4. Kuritsyn A.A., Lonchakov Yu.V., Kornienko M.B. et al. 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 (26-30 September 2016; Guadalajara, Mexico). Paper No. IAC-16.B3.5.3x32131.
5. Васильева Н.В., Фокин В.Е., Андронов Д.П. и др. Использование российских данных ДЗЗ при подготовке к выполнению визуально-инструментальных наблюдений с борта МКС // Дистанционное зондирование Земли из космоса в России: Сб. информационных материалов (научно-практический журнал). 2019. Вып. №2. С. 60–66.

6. *Wicht M., Kuffer M.* The continuous built-up area extracted from ISS night-time lights to compare the amount of urban green areas across European cities // *European Journal of Remote Sensing*. 2019. Vol. 52, pp. 58-73. DOI: 10.1080/22797254.2019.1617642
7. *Spahr D., Koch T., Merges D.* et al. A chondrule formation experiment aboard the ISS: Experimental set-up and test experiments // *Icarus*. 2020. Vol. 350, 113898. DOI: 10.1016/j.icarus.2020.113898
8. *Leake S.* Reverse Geolocation of Images Taken from the International Space Station Utilizing Various Lightning Datasets // *IEEE Aerospace Conference* (2-9 March 2019; Big Sky, MT, USA, USA). DOI: 10.1109/AERO.2019.8741774
9. *Neubert T., Ostgaard N., Reglero V.* et al. A terrestrial gamma-ray flash and ionospheric ultraviolet emissions powered by lightning // *Science*. 2019. Vol. 367. Issue 6474, pp. 183-186. DOI: 10.1126/science.aax3872
10. *Li K., Chen Y., Li Y.* The Random Forest-Based Method of Fine-Resolution Population Spatialization by Using the International Space Station Nighttime Photography and Social Sensing Data // *Remote Sensing Letters*. 2018. Vol. 10. No. 10, p. 1650. DOI: 10.3390/rs10101650
11. *Груздов В.В., Колковский Ю.В., Криштопов А.В., Кудря А.И.* Новые технологии дистанционного зондирования Земли из космоса. — М.: Техносфера, 2019. — 482 с.
12. *Kuritsyn A.A., Popova E.V., Shcherbinin D.A.* The use of computer-based simulators to train cosmonauts for the fulfillment of the program of scientific-applied research // *2018 International Conference on Engineering Technologies and Computer Science* (20-21 March 2018; Moscow, Russia). DOI: 10.1109/EnT.2018.00017
13. *Васильев В.И., Васильева Н.В., Фокин В.Е.* и др. Применение современных информационных технологий при подготовке космонавтов к выполнению визуально-инструментальных наблюдений земной поверхности с борта РС МКС // *Пилотируемые полеты в космос*. 2015. № 3(16). С. 83–91.
14. *Боднер В.А., Закиров Р.А., Смирнова И.И.* Авиационные тренажеры. — М.: Машиностроение, 1978. — 192 с.
15. *Демин Л.С., Жуковский Ю.Г., Семенов А.П.* и др. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов / Под ред. В.Е. Шукшунова. — М.: Машиностроение, 1986. — 240 с.
16. *Волков С.С.* Методика оценки психофизиологического состояния операторов систем специального назначения // *Вестник Московского авиационного института*. 2019. Т. 26. № 4. С. 174-183. DOI: 10.34759/vst-2019-4-174-183
17. *Емельянов А.А., Малышев В.В., Смольянинов Ю.А., Старков А.В.* Формализация задачи оперативного планирования целевого функционирования разнотипных космических аппаратов дистанционного зондирования земли // *Труды МАИ*. 2017. № 96. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=85921>
18. *Макарова С.М., Падалко С.Н., Строгонова Л.Б., Терентьев М.Н.* Непрерывный круглосуточный медицинский контроль психофизиологического состояния и координат космонавтов с использованием беспроводной сенсорной сети // *Вестник Московского авиационного института*. 2012. Т. 19. № 2. С. 177-181.
19. *Разумный Ю.Н.* Введение в теорию оптимального проектирования спутниковых систем периодического обзора // *Труды МАИ*. 2009. № 34. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=8249>
20. *Васильев В.И., Попова Е.В., Сабуров П.А.* Основы создания и совершенствования технических средств подготовки космонавтов к выполнению научно-прикладных исследований и экспериментов на РС МКС // *Пилотируемые полеты в космос*. 2020. № 1(34). С. 72-85. DOI: 10.34131/MSF.20.1.72-85
21. *Сельвесюк Н.И., Веселов Ю.Г., Гайденков А.В., Островский А.С.* Оценка характеристик обнаружения и распознавания объектов на изображении от специальных оптико-электронных систем наблюдения летного поля // *Труды МАИ*. 2018. № 103. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=100782>

SIMULATOR STAND DESIGNING FOR COSMONAUTS TRAINING TO PERFORM VISUAL-INSTRUMENTAL OBSERVATIONS

Vasil'eva N.V.* , Dedkova E.V.** , Kutnik I.V.*** ,
Fokin V.E.**** , Chub N.A.***** , Yurchenko E.S.*****

*Yu.A. Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center,
Star City, Moscow Region, 141160, Russia*

* *e-mail: N.Vasileva@gctc.ru*

** *e-mail: E.Dedkova@gctc.ru*

*** *e-mail: I.Kutnik@gctc.ru*

**** *e-mail: V.Fokin@gctc.ru*

***** *e-mail: N.Chub@gctc.ru*

***** *e-mail: E.Yurchenko@gctc.ru*

Abstract

The International Space Station Russian Segment (the ISS RS) development along with the increasing number of scientific and applied research and experiments performed by cosmonauts onboard the space station actualize the issue of ensuring high-quality training for the scientific program implementation. Visual-instrumental observations of the Earth from space (VIOs) are one of the most informative methods of Earth's remote probing, employed in manned space exploration. They are intended for observing natural and anthropogenic objects, phenomena occurring in outer space, atmosphere, on ocean and land surface (cyclones formation and typhoons origination, volcanic activity, thunderstorms, forest fires, bio-productive areas in the oceans, and processes in the upper atmosphere).

The experience of domestic cosmonauts training for the VIOs performing is indicative of the importance of cosmonauts training process at all of its stages. Cosmonauts training in this line should represent educational and training process oriented on cosmonauts' mastering theoretical basics of experimental research on topical problems of earth sciences, studying physiographic specifics of territories and acquiring necessary skills and abilities on searching and identifying the objects under study, as well as practical application of the onboard equipment for remote geosystems' probing.

Selection of research trends onboard the ISS is based on the basic principles of the Federal Space Program of Russia, foreseeing studying of the Earth surface, Moon studying and exploration, observing various processes and phenomena on both Earth and Lunar surface. This puts forward the requirements to cosmonauts' training on this trend of their professional activities at all stages of their training for the space flight. These requirements consist, in the first place,

in the necessity for the theoretical training, as well as conducting practicum and training using informational resources of specialized simulators that simulate visual situation under conditions of the ISS flight, and flights for aero-visual observations of test sections of land and sea.

Creation of simulator for cosmonauts' training to perform VIO based on employing digital Earth surface model allows enhancing effectiveness and quality of cosmonauts training to perform the spaceflight onboard the ISS. In the course of design and development of the simulator stand for cosmonauts' training to perform VIO a comprehensive analysis of specific features and conditions for the VIO performing, characteristics of the scientific equipment in use, as well as available experience of cosmonauts' training on prospective space programs, including flights to the Moon and near-Lunar space, was performed.

Keywords: visual-instrumental observations, remote Earth probing, technical means for cosmonaut training, visual situation, observed objects registering, information criteria, operator's characteristics, operator's adaptive abilities.

References

1. *Federal'naya kosmicheskaya programma Rossii na period 2016-2025 gody*, <http://www.federalspace.ru>
2. Kuritsin A.A., Lonchakov Yu.V., Kryuchkov B.I. et al. New Approaches to Cosmonaut Training on the Program of Scientific-Applied Research and Experiments Aboard the ISS Russian Segment. *66th International Astronautical Congress – 2015 (12-16 October 2015; Jerusalem, Israel)*. Paper No. IAC-15.B3.5.2x28425. URL: IAC-15,B3,5,2,x28425.brief.pdf
3. Vasiliev V.I., Vlasov P.N., Kud-Sverchkov S.V. et al. Experience in Training Cosmonauts for Visual Instrumental Observations from the ISS Using the

- Flying Laboratory. *70th International Astronautical Congress – 2019 (21-25 October 2019; Washington D.C., USA)*. Paper No. IAC-19, B3.5.4x49668.
4. Kuritsyn A.A., Lonchakov Yu.V., Kornienko M.B. et al. 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 (26-30 September 2016; Guadalajara, Mexico)*. Paper No. IAC-16.B3.5.3x32131.
 5. Vasil'eva N.V., Fokin V.E., Andronov D.P. et al. *Distsionnoe zondirovanie Zemli iz kosmosa v Rossii*. Sbornik informatsionnykh materialov (nauchno-prakticheskii zhurnal), 2019, no. 2, pp. 60–66.
 6. Wicht M., Kuffer M. The continuous built-up area extracted from ISS night-time lights to compare the amount of urban green areas across European cities. *European Journal of Remote Sensing*, 2019, vol. 52, pp. 58-73. DOI: 10.1080/22797254.2019.1617642
 7. Spahr D., Koch T., Merges D. et al. A chondrule formation experiment aboard the ISS: Experimental set-up and test experiments. *Icarus*, 2020, vol. 350. DOI: 10.1016/j.icarus.2020.113898
 8. Leake S. Reverse Geolocation of Images Taken from the International Space Station Utilizing Various Lightning Datasets. *IEEE Aerospace Conference (2-9 March 2019; Big Sky, MT, USA, USA)*. DOI: 10.1109/AERO.2019.8741774
 9. Neubert T., Ostgaard N., Reglero V. et al. A terrestrial gamma-ray flash and ionospheric ultraviolet emissions powered by lightning. *Science*, 2019, vol. 367, issue 6474, pp. 183-186. DOI: 10.1126/science.aax3872
 10. Li K., Chen Y., Li Y. The Random Forest-Based Method of Fine-Resolution Population Spatialization by Using the International Space Station Nighttime Photography and Social Sensing Data. *Remote Sensing Letters*, 2018, vol. 10, no. 10, p. 1650. DOI: 10.3390/rs10101650
 11. Gruzdov V.V., Kolkovskii Yu.V., Krishtopov A.V., Kudrya A.I. *Novye tekhnologii distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* (New technologies of the Earth remote probing from space), Moscow, Tekhnosfera, 2019, 482 p.
 12. Kuritsyn A.A., Popova E.V., Shcherbinin D.A. The use of computer-based simulators to train cosmonauts for the fulfillment of the program of scientific-applied research. *International Conference on Engineering Technologies and Computer Science (20-21 March 2018; Moscow, Russia)*. DOI: 10.1109/EnT.2018.00017
 13. Vasil'ev V.I., Vasil'eva N.V., Fokin V.E. et al. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2015, no. 3(16), pp. 83–91.
 14. Bodner V.A., Zakirov R.A., Smirnova I.I. *Aviatsionnye trenazhery* (Aviation simulators), Moscow, Mashinostroenie, 1978, 192 p.
 15. Demin L.S., Zhukovskii Yu.G., Semenin A.P. et al. *Avtomatizirovannye obuchayushchie sistemy professional'noi podgotovki operatorov letatel'nykh apparatov* (Automated training systems for professional training of aircraft operators), Moscow, Mashinostroenie, 1986, 240 p.
 16. Volkov S.S. Assessment techniques for psychophysiological state of special purpose systems operators. *Aerospace MAI Journal*, 2019, vol. 26, no. 4, pp. 174-183. DOI: 10.34759/vst-2019-4-174-183
 17. Emel'yanov A.A., Malyshev V.V., Smol'yaninov Yu.A., Starkov A.V. *Trudy MAI*, 2017, no. 96. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=85921>
 18. Makarova S.M., Padalko S.N., Strogonova L.B., Terentiev M.N. Permanent 24-hour medical control of psychophysiological state and registration of spatial coordinates of cosmonauts with the use of Wireless Sensor Network. *Aerospace MAI Journal*, 2012, vol. 19, no. 2, pp. 177-181.
 19. Razumnyi Yu.N. *Trudy MAI*, 2009, no. 34. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=8249>
 20. Vasil'ev V.I., Popova E.V., Saburov P.A. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2020, no. 1(34), pp. 72-85. DOI: 10.34131/MSF.20.1.72-85
 21. Sel'vesyuk N.I., Veselov Yu.G., Gaidenkov A.V., Ostrovskii A.S. *Trudy MAI*, 2018, no. 103. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=100782>