

УДК 629.78

ИММЕРСИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОДГОТОВКЕ КОСМОНАВТОВ: ПОДХОДЫ К ПРИМЕНЕНИЮ

О.В. Блинов, И.В. Лукьянов, М.В. Арбузова

О.В. Блинов; И.В. Лукьянов; М.В. Арбузова
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматриваются современные подходы к применению иммерсивных технологий для подготовки космонавтов с акцентом на применение технологий виртуальной (VR), дополненной (AR) и смешанной (MR) реальности. Проанализированы практические примеры внедрения данных технологий в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина (ЦПК). В частности, рассмотрены их использование в функционально-моделирующих стендах (ФМС) «Орлан-МК», «Наука», «МКС», а также в перспективных тренажерах на базе российского программного обеспечения (ПО). Рассмотрены ключевые преимущества технических средств подготовки космонавтов (ТСПК) с использованием иммерсивных технологий: снижение финансовых затрат; возможность опережающей подготовки до создания комплексных тренажеров и гибкость в модернизации сценариев подготовки космонавтов. Особое внимание уделено проблеме киберболезни (расстройства вестибулярного аппарата) при использовании VR и путям ее решения через совершенствование аппаратных характеристик. Определены рекомендации по применению иммерсивных технологий на различных этапах подготовки космонавтов в зависимости от решаемых задач. С учетом специфики требований к комплексным и специализированным тренажерам, где ключевым условием является адекватность реальному полету, в статье обосновано место иммерсивных решений при создании ТСПК: преимущественно на этапе общекосмической подготовки (ОКП), этапе подготовки в составе групп специализации и совершенствования (ГСС), а также при опережающем освоении новой техники до ввода в эксплуатацию штатных тренажеров.

Ключевые слова: иммерсивные технологии, виртуальная реальность, дополненная реальность, смешанная реальность, подготовка космонавтов, функционально-моделирующий стенд, этапы подготовки космонавтов, технические средства подготовки космонавтов

Immersive Technologies in Cosmonaut Training: Approaches to Application. O.V. Blinov, I.V. Lukyanov, M.V. Arbuzova

The article considers modern approaches to the application of immersive technologies for cosmonaut training with an emphasis on the application of virtual, augmented and mixed reality technologies. The following is analyzed: practical examples of the introduction of those technologies at the Gagarin Cosmonaut Training Center, such as on the functional & modeling stands (FMS) “Orlan-MK”, “Nauka”, “ISS” and in promising simulators based on the Russian

software. The key advantages of Technical Facilities for Cosmonaut Training using immersive technologies are considered: reducing financial costs; possibility of advanced training before creating complex simulators and flexibility in modernizing cosmonaut training scenarios. Particular attention is paid to the problem of cyber disease (disorder of the vestibular apparatus) when using virtual reality and ways to solve it through improving hardware specifications. Recommendations for the use of immersive technologies at various stages of cosmonaut training, depending on the tasks to be solved, are determined.

Taking into account the specific requirements for complex and specialized simulators, where the key condition is their high fidelity, the article explains the place of immersive solutions when creating Technical Facilities for Cosmonaut Training: mainly at the stage of basic space training, the stage of advanced space training, as well as with the advanced development of new equipment before the commissioning of standard simulators.

Keywords: immersive technologies, virtual reality, augmented reality, mixed reality, cosmonaut training, functional & modeling stand, stages of cosmonaut training, technical facilities for cosmonaut training

Эволюция пилотируемых космических программ, характеризующаяся усложнением аппаратуры и ростом ответственности экипажей, предъявляет новые требования к системе подготовки. Традиционные методы подготовки, основанные на натуральных тренажерах, сталкиваются с ограничениями по стоимости, гибкости и возможности моделирования расчетных нештатных ситуаций. Современным ответом на эти вызовы является интеграция иммерсивных технологий в ТСПК. Данные технологии позволяют создавать гибридные среды, где модели штатных органов управления сочетаются с виртуальными интерфейсами, обеспечивая новый уровень реалистичности и эффективности обучения [1, 2].

Практическое применение иммерсивных технологий в ТСПК

Опыт создания ТСПК в ЦПК демонстрирует внедрение иммерсивных решений в учебный процесс. Примером такого решения являются:

ФМС «Орлан-МК» – предназначен для отработки алгоритмов взаимодействия оператора со скафандром и комплексом средств шлюзования. Использование шлема VR позволяет космонавту полностью погрузиться в виртуальный интерьер шлюзовой камеры. Задача двухчасового занятия – формирование моторных навыков по алгоритму работы с органами управления скафандра (пультом оператора ПО-4М, органами управления скафандра, клапанами стравливания и выравнивания давления, тумблерами). Ключевое преимущество внедрения технологии VR – безопасная и многократная отработка последовательности действий, критичных для безопасности выхода в открытый космос (рис. 1).



Рис. 1. Практические занятия на ФМС «Орлан-МК»

Источник: www.gctc.ru

ФМС «Наука» – используется для подготовки космонавтов по космическим экспериментам и научной аппаратуре (НА) на этапе ОКП и на этапе подготовки в ГСС в целях подготовки космонавтов по выполнению работ по российской программе научно-прикладных исследований (целевых работ) на пилотируемых космических комплексах. ФМС построен на основе интерактивных 3D-моделей НА с возможностью использования средств VR (рис. 2).

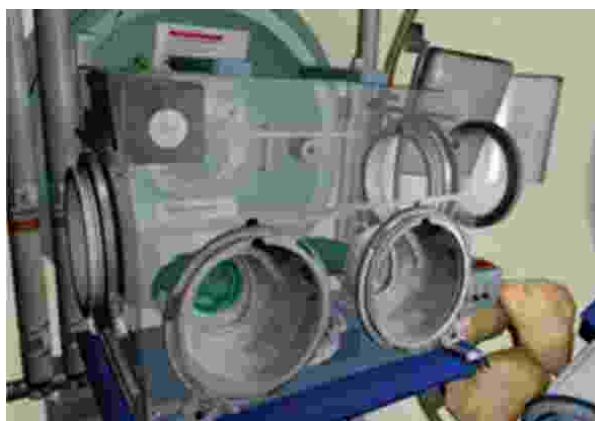


Рис. 2. Скриншот подготовки по целевому оборудованию «Главбокс-С»

Источник: www.gctc.ru

Стенд VR российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) предназначен для изучения его конструкции и компоновки. Космонавты могут виртуально «пролететь» через отсеки, изучить размещение оборудования и отработать маршруты перехода, что существенно ускоряет процесс первичного ознакомления (рис. 3) [2].

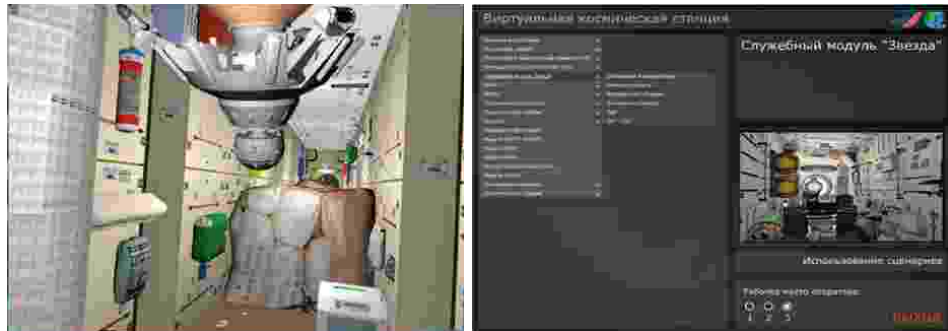


Рис. 3. Скриншоты компьютерного стенда подготовки экипажей МКС с использованием элементов VR

Источник: www.gctc.ru

Применение американской системы Dynamic Onboard Ubiquitous Graphics (DOUG) показало ее эффективность при выполнении задач на этапах планирования и подготовки к внекорабельной деятельности (ВКД) на основе трехмерной модели МКС (рис. 4). С учетом положительного эффекта при использовании DOUG ведется разработка конкурентоспособной отечественной системы – функционально-моделирующего стенда ВКД на базе специального программного обеспечения «Одиссей» (РКК «Энергия»). Данный стенд предназначен для имитации фотореалистичной внешней поверхности Российской орбитальной станции (РОС) в VR. Его создание обусловлено необходимостью оперативно актуализировать цифровую модель станции, постоянно изменяющуюся в процессе развертывания и монтажа навесного оборудования, а также точного учета светотеневой обстановки. Технические средства стенда включают шлем и перчатки VR для обеспечения иммерсивного взаимодействия с виртуальной средой. Таким образом, создаваемая система призвана обеспечить независимую и технологически современную подготовку космонавтов к операциям в открытом космосе (рис. 5).

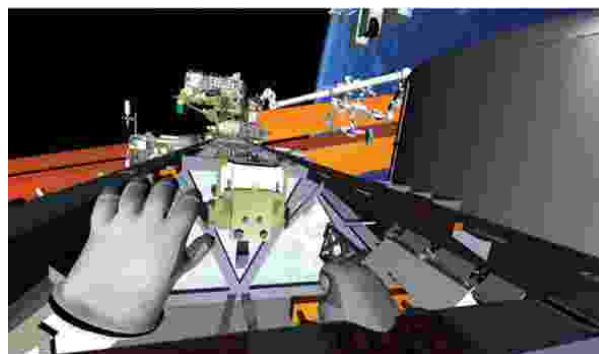


Рис. 4. Скриншот программного обеспечения DOUG

Источник: www.nasa.gov

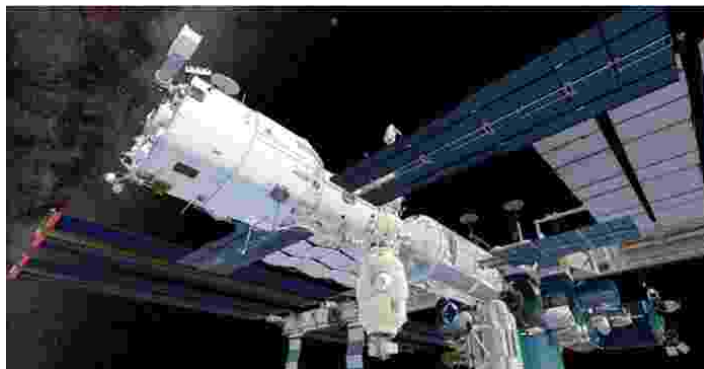


Рис. 5. Скриншот программного обеспечения «Одиссей»

Источник: www.sdelanounas.ru

Ключевые преимущества гибридных тренажеров

Внедрение иммерсивных технологий VR/AR трансформирует ТСПК в сторону гибридных решений. Гибридный тренажер определяется как тренажер, объединяющий ТСПК с искусственно сгенерированными виртуальными образами, логически связанными с реальным оборудованием [2].

Преимуществами гибридных тренажеров являются:

- опережающее создание облика рабочего места (кабины корабля, отсека станции, интерфейса скафандра, научного оборудования) на этапе проектирования реального аппарата, до изготовления дорогостоящего комплексного тренажера;

- экономическая эффективность и гибкость: внесение изменений в виртуальные сцены требует значительно меньше ресурсов, чем модернизация макета; стоимость разработки виртуальной модели многократно ниже стоимости его макета; виртуальные объекты допускают неограниченное количество тренировок;

- безопасность отработки расчетных нештатных ситуаций (пожары, разгерметизация, отказ систем) без риска для обучаемого и оборудования;

- акцент на подготовку по отработке алгоритмов управления: для многих задач (изучение компоновки, отработка последовательности переключений) тактильная обратная связь не является строго необходимой и формирование корректного алгоритма действий успешно достигается в VR-среде.

Место иммерсивных технологий в системе ТСПК

В ТСПК традиционно выделяются комплексные и специализированные тренажеры, предназначенные для завершающего этапа подготовки, зачетных и комплексных тренировок. Ключевое требование к таким тренажерам – адекватность, то есть максимальное соответствие условиям деятельности

в реальном космическом полете. Появление в их составе любых средств, отсутствующих на борту штатного изделия, может привести к формированию недостоверной информационной модели и ложных навыков. Поэтому на сегодняшний день применение технологий VR/AR в составе комплексных и специализированных тренажеров ограничено.

Вместе с тем ФМС и гибридные тренажеры на базе иммерсивных технологий находят широкое применение на этапе ОКП, этапе подготовки в ГСС, а также при опережающем освоении новой техники (когда комплексный тренажер еще не создан или находится в стадии модернизации). В этих случаях основная цель – формирование навыков по отработке последовательности действий, пространственного образа и понимания логики работы систем. Высокая степень сценарной проработки, возможность объемного воспроизведения окружающего пространства и имитации процессов (включая эффекты невесомости) делают иммерсивные средства незаменимыми на начальных этапах подготовки. Формирование устойчивых сенсорных навыков, требующих тактильной обратной связи, в полной мере обеспечивается последующими тренировками на комплексных тренажерах. Таким образом, комбинированное применение виртуальных и реальных тренажеров на разных этапах подготовки позволяет исключить риск привития ложных навыков, дополняя друг друга. Вопрос о включении технологий VR/AR в состав перспективного комплекса тренажеров модулей РОС в настоящее время прорабатывается в рамках аванпроектов и научно-исследовательских работ (НИР) с участием ведущих организаций в области космического тренажеростроения. Такой подход обеспечит взвешенное решение, учитывающее как требования адекватности, так и возможности инновационных технологий.

Проблема расстройства вестибулярного аппарата и пути ее минимизации

Основным ограничением широкого внедрения иммерсивных технологий (VR/AR) в длительные тренировки является укачивание, вызванное сенсорным конфликтом между визуальной и вестибулярной системами. Симптомы (тошнота, головокружение, дезориентация) снижают эффективность обучения.

Современные исследования [3] и практика в ЦПК показывают, что минимизация этого эффекта достигается за счет улучшения ключевых аппаратных характеристик:

- высокое разрешение и частота обновления – использование дисплеев с разрешением не менее 4К и частотой кадров ≥ 90 Гц (желательно 120 Гц и выше) значительно снижает визуальный шум и задержку (задержка системы должна быть менее 20 мс);

- легкость и эргономика шлема – снижение его массы и улучшение балансировки уменьшают физический дискомфорт;

- точное отслеживание положения головы и контроллеров в реальном времени для соответствия движений в виртуальной и реальной среде.

Благодаря прогрессу в этих областях современные VR-системы становятся пригодными для продолжительных учебных занятий, что подтверждается их растущим применением в профессиональной подготовке и образовании.

Рекомендации по применению технологий на различных этапах подготовки

Исходя из накопленного опыта применения иммерсивных технологий, можно сформулировать следующие рекомендации:

1) на начальном этапе ОКП активно использовать VR-тренажеры для изучения компоновки станций или кораблей, устройства систем с целью формирования пространственного образа и понимания последовательности действий;

2) на этапе подготовки в ГСС применять тренажеры с элементами AR, где органы управления дополняются виртуальными интерфейсами и интерактивной документацией (например, виртуальные «подсказки» при работе с оборудованием), что позволит отрабатывать навыки управления в связке с тактильными ощущениями (рис. 6);



Рис. 6. Применение MR на тренажерной базе
ООО «Центр тренажеростроения», г. Новочеркасск

3) на этапе подготовки в составе экипажа использовать многопользовательские VR-среды для отработки взаимодействия и координации действий при совместных задачах;

4) в ходе космического полета для поддержания навыков повторения процедур и изучения новых материалов целесообразно применять носимые AR/VR-устройства (планшеты, очки), размещенные на борту орбитальной станции.

Выводы

Применение иммерсивных технологий переходит из разряда экспериментальных в категорию элементов перспективной модернизации системы

подготовки космонавтов. Реализованные в ЦПК ФМС («Орлан-МК», «Наука», «МКС»), отечественная система на базе ПО «Одиссей» РКК «Энергия») доказали свою эффективность в сокращении сроков подготовки, повышении безопасности и глубины усвоения материала. Учитывая высокие требования к адекватности комплексных и специализированных тренажеров, иммерсивные технологии целесообразно применять на этапе ОКП, подготовки в составе ГСС и при опережающем освоении новой техники, что позволяет избежать рисков формирования не полной среды взаимодействия «космонавт – космический аппарат». Преодоление технических ограничений, связанных с киберболезнью, через совершенствование аппаратной части открывает путь к более длительным и интенсивным тренировкам с использованием иммерсивных технологий. Разработка на базе отечественного ПО для РОС и перспективных пилотируемых транспортных кораблей, использующего принципы гибридного моделирования, является стратегическим направлением внедрения современных технологий и использования ПО для обеспечения лидирующих позиций России в области пилотируемой космонавтики. Вопрос интеграции VR/AR в состав комплексных тренажеров РОС в настоящее время прорабатывается в рамках аванпроектов и НИР с участием профильных организаций, что позволит найти баланс между потребностью в своевременном привитии навыков по управлению космическим аппаратом и его системами и требованием адекватности.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Шукшунов, В.Е. Основы создания цифрового тренажерно-моделирующего комплекса нового поколения для подготовки космонавтов / В.Е. Шукшунов, В.В. Янюшкин, А.О. Чуланов; под ред. В.Е. Шукшунов. – Москва: Инновационное машиностроение, 2020. – 248 с.
Shukshunov, V.E. Basics of Creating Computer-Assisted Simulator for Cosmonaut Training: Training Manual / V.E. Shukshunov, V.V. Yanyushkin, A.O. Chulanov; ed. by V.E. Shukshunov. – Moscow: Innovative Engineering, 2020. – 248 p.
2. Шукшунов, В.Е. Основы построения тренажерно-моделирующего комплекса и технических средств подготовки космонавтов по программе «Российская орбитальная станция» / В.Е. Шукшунов, В.В. Янюшкин; под ред. В.Е. Шукшунова. – Москва: Инновационное машиностроение, 2024. – С. 78–80.
Shukshunov, V.E. Basics of Creating Simulator and Technical Assets for Cosmonaut Training in Russian Orbital Station Programme / V.E. Shukshunov, V.V. Yanyushkin; ed. by V.E. Shukshunov. – Moscow: Innovative Engineering, 2024. – P. 78–80.
3. Наумов, Б.А. Космические тренажеры: учебное пособие. – Звездный городок: Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, 2013. – 214 с.
Naumov, B.A. Spacecraft Simulators: Training Manual. – Zvezdny Gorodok: Yuri Gagarin Cosmonaut Training Center, 2013. – 214 p.