

НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ КОСМОНАВТОВ К ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А.А. Алтунин, П.П. Долгов, Н.Р. Жамалетдинов, Е.Ю. Иродов,
В.С. Коренной

А.А. Алтунин; канд. техн. наук, ст.н.с. П.П. Долгов; Н.Р. Жамалетдинов;
канд. техн. наук, ст.н.с. Е.Ю. Иродов; канд. техн. наук, ст.н.с. В.С. Коренной
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассмотрены актуальные направления использования средств виртуальной реальности в процессе подготовки космонавтов к внекорабельной деятельности. Сформулированы классы задач, которые могут быть решены с помощью виртуальной реальности. Представлено описание ситуаций. Разработаны сценарии сюжетов, для которых возможно использование средств виртуальной реальности. Определены этапы подготовки космонавтов, на которых целесообразно применять результаты реализации данных задач.

Ключевые слова: виртуальная реальность, подготовка космонавтов, внекорабельная деятельность, тренажер, скафандр.

Application of Virtual Reality Technologies in Training Cosmonauts for Extravehicular Activities. A.A. Altunin, P.P. Dolgov, N.R. Zhamaletdinov, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy

The paper considers the topical areas of applying VR environment in the process of training cosmonauts to perform extravehicular activities. The tasks that can be solved using virtual reality are defined. The paper gives a description of operations and scenarios for which it is possible to use virtual reality systems. The stages of cosmonaut training, at which it is advisable to apply the results of the defined tasks, are determined.

Keywords: virtual reality, cosmonaut training, extravehicular activity, simulator, spacesuit.

Постановка задачи

В настоящее время активно разрабатываются средства и технологии виртуальной реальности (ВР) в интересах совершенствования технических средств подготовки космонавтов (ТСПК) [1–5]. Разработчиками ТСПК предлагаются способы моделирования различных ситуаций, которые, по мнению разработчиков, будут полезны для целей подготовки космонавтов. Но значительное число разработок не находит практического применения из-за не востребованности сюжетов и задач, которые были промоделированы на уровне демонстрационных образцов и образцов для испытаний.

При создании ТСПК важен правильный выбор задач, которые могут отрабатываться на данном средстве. Поэтому обоснование задач внекорабельной деятельности (ВКД), которые могут быть промоделированы на базе средств и технологий виртуальной реальности, имеет важное практическое значение [6].

В настоящее время в зависимости от предоставляемых пользователям или операторам ЭВМ возможностей взаимодействия с искусственно создаваемой средой различаются следующие виды виртуальной реальности [7]:

- пассивная виртуальная реальность (ПВР) – графическое изображение и его звуковое сопровождение, воспроизводятся ЭВМ и никак не управляются человеком;

- обследуемая виртуальная реальность (ОВР) – существует возможность выбора вариантов сценариев изображения и звука, предоставляемых пользователям в ограниченном количестве;

- интерактивная виртуальная реальность (ИВР) – полномасштабная реализация ВР, при которой пользователю предоставляются возможности управления, которые он мог или захотел выполнить, если бы действительно находился в созданном искусственном мире.

На основе анализа задач подготовки космонавтов к ВКД и деятельности космонавтов в процессе ВКД [8] выделены классы задач, физически сложно моделируемые на ТСПК, которые могут быть решены с помощью средств виртуальной реальности. К ним относятся:

- задачи по аварийным ситуациям;
- задачи по управлению перспективными средствами;
- информационное обеспечение процесса подготовки.

В рамках данной статьи последовательно рассматриваются вопросы: 1) описание моделируемой ситуации; 2) разработка интерактивного сценария поведения активных агентов в виртуальной среде и регламентов взаимодействия пользователя с объектами виртуального мира; 3) объектов визуализации и интерактивного представления сцен; 4) совокупности дидактических требований по данной конкретной задаче; 5) определение этапов подготовки космонавтов, на которых целесообразно применять результаты реализации данных задач.

Описание ситуации и разработка сценариев

Задачи по аварийным ситуациям

1. Демонстрация ошибки не закрепления (фиксации) или обрыва страховочного фала скафандра

Данная ошибка может возникнуть по ряду причин:

- космонавт не закрепил карабин страховочного фала за поручень;
- космонавт совершил ошибку при перецепках карабинов;

- фал закреплен за поручень, имеющий специальную маркировку, и не выдержавший нагрузку;
- разрушилась конструкция поручня, произошел отрыв фала от места закрепления, обрыв мягких поручней.

После нарушения связи фала с поручнями, из-за действия различных сил, возможен отлет космонавта от станции, что оказывает сильное психологическое воздействие на космонавта.

В настоящее время эта задача не обрабатывается на ТСПК, т.к. имеющиеся средства не позволяют имитировать свободные движения космонавта. В гидролаборатории (ГЛ) на динамику движения оказывает сильное влияние вязкость жидкости, на тренажере «Выход-2» – система подвески.

Для демонстрации данной задачи необходимо моделирование вида из скафандра части поверхности модуля станции, движение космонавта относительно станции, изменение положения космонавта из-за движения рук и ног.

Сценарий сюжета: космонавт находится на внешней поверхности станции, движется с небольшой скоростью, выполняет перецепку фала, не закрепляет фал за поручень, движение космонавта продолжается, космонавт руками пытается достать до поручней, пытается движением частей тела изменить свое пространственное положение, космонавт отдаляется от станции.

Разработанная модель ситуации может быть применена при проведении подготовки космонавтов на этапе общекосмической подготовки (ОКП) и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации.

2. Демонстрация последствий ошибок при выполнении операций отброса оборудования и запуска спутников

В процессе осуществления внекорабельной деятельности космонавтам приходится выполнять операции отброса в космическое пространство отработанного оборудования (агрегатов), а также запускать вручную спутники различной массы, формы и габаритов [9]. Для отброса оборудования и запуска спутников космонавты должны зафиксироваться и придать требуемый импульс скорости заданному объекту в требуемом направлении, т.е. выдержать углы и скорость отброса объекта. В процессе выполнения этих операций могут возникать определенные ошибки:

- неправильная ориентация при отбросе и запуске спутника;
- неправильная скорость отброса спутника или оборудования;
- неправильная фиксация космонавта при запуске спутника или отбросе оборудования.

Эти ошибки могут привести к следующим последствиям:

- столкновение отброшенного оборудования или спутника с отдельными элементами станции или даже с космонавтами;
- полет отброшенного оборудования и спутника долгое время рядом со станцией, что может привести к столкновению;

– непрогнозируемые движения космонавта и возможный его отрыв от мест фиксации.

В настоящее время эти задачи не отрабатываются на ТСПК, т.к. имеющиеся средства не позволяют имитировать рассмотренные операции и действия космонавта в данных ситуациях.

Для демонстрации последствий ошибок при выполнении операций отброса оборудования и запуска спутников необходимо осуществлять моделирование вида из скафандра части поверхности станции, движение космонавта относительно станции, движение (полет) оборудования, спутников, обломков, инструмента.

Сценарий сюжета: космонавт находится на внешней поверхности станции, закрепляется в определенном месте, выполняет отброс оборудования или запуск спутника, космонавту транслируется картинка: оборудование или спутник попадает в солнечные батареи, антенны или другие элементы, расположенные на внешней поверхности станции, разлет обломков, оборудования, инструмента. Космонавт выполняет определенные действия для обеспечения собственной безопасности, минимизации повреждения конструкции станции.

Разработанная модель ситуации может быть применена при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации.

3. Демонстрация ограничений на работу в зонах двигателей, антенн, солнечных батарей

В соответствии с требованиями по безопасности при проведении внекорабельной деятельности член экипажа ВКД в скафандре «Орлан» должен находиться на безопасном расстоянии за пределами следующих опасных зон:

- антенны систем связи;
- антенны систем стыковки;
- панели солнечных батарей;
- двигатели малой тяги.

Существуют требования по правилам нахождения космонавтов в данных опасных зонах, местам крепления фалов, положению частей тела космонавтов.

Для демонстрации космонавтам существующих опасностей, возникающих при нарушении требований по безопасности, целесообразно моделировать возможные воздействия опасных факторов в этих зонах на космонавта в скафандре и используемое снаряжение. Существующие тренажеры не позволяют имитировать работу двигателей, перекладки и ориентации антенн, развороты солнечных батарей.

Опасными факторами, воздействующими на космонавтов в скафандре, в этих зонах являются:

- струя газов от двигателей ориентации, которая оказывает механическое, тепловое и химическое воздействие на космонавта;

– детали антенн, которые оказывают механическое воздействие на космонавта, оказавшегося в зоне перемещения антенн, и электромагнитное воздействие при излучении сигналов;

– панели солнечных батарей, которые оказывают механическое воздействие на космонавта, оказавшегося в зоне перемещения и разворота панелей.

Для демонстрации данной задачи необходимо моделирование вида из скафандра части поверхности модуля станции, с расположенными на ней источниками опасностей, поручней для закрепления фалов, оборудования на поверхности станции, результаты механического воздействия.

Сценарий сюжета: космонавт находится на внешней поверхности станции, выполняет монтаж оборудования, срабатывает двигатель ориентации, струя газов воздействует на скафандр, моделируются результаты воздействия (импульс движения, повышение температуры, химическое воздействие на материалы скафандра), развитие во времени результатов воздействия. При развороте антенны или солнечной батареи происходит механическое воздействие на скафандр, моделирование изменения параметров движения и внешнего вида в поле зрения космонавта.

Разработанная модель ситуации может быть применена при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации.

4. Демонстрация проблем, связанных с остеклением скафандра (неполадки с остеклением, ослепление от Солнца, запотевание, разлив воды в скафандре)

Все работы в процессе ВКД выполняются в скафандрах. Обзор внешней обстановки космонавт осуществляет через остекление гермошлема скафандра. Скафандр оборудован наружным светофильтром для защиты от излучения Солнца.

В процессе ВКД возможны различные ситуации, связанные с остеклением скафандра. К ним относится неработоспособность светофильтра, когда нет возможности закрыть светофильтр или открыть его. Большая освещенность при открытом светофильтре ослепляет космонавта, затрудняет ведение визуального наблюдения. На тренировках целесообразно показать космонавту влияние этой ситуации на освещенность в гермошлеме, на видимость внешних объектов, влияние светового потока на открытые части тела.

Также возможно запотевание остекления, что существенно ухудшает видимость внешней обстановки из скафандра. Поскольку механически нельзя протереть внутреннюю поверхность, то возможно продемонстрировать способы уменьшения запотевания за счет управления потоками воздуха внутри скафандра.

Возможны ситуации, связанные с попаданием воды в гермошлем, появление капель воды. Опасность этой ситуации обусловлена тем, что капли воды могут попасть в органы дыхания.

Данные модели ситуаций могут демонстрироваться во время практических занятий по дисциплине «Скафандр для ВКД» при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП.

5. Демонстрация ситуаций при пропуске аварийного сигнала

В скафандре «Орлан» на передней части корпуса размещены органы управления автономной системы обеспечения жизнедеятельности (АСОЖ) и пульт оператора с дисплеем для вывода параметров АСОЖ и аварийно-предупредительной сигнализации. Осуществляется индикация об отклонениях в работе систем скафандра и рекомендаций по действиям космонавта при этих отклонениях. Космонавт должен выполнить определенные действия, которые парируют возникшую нештатную ситуацию.

В случае, если космонавт не выполняет предписанных действий или выполняет их неправильно, то нештатная ситуация может развиваться до аварийной, когда может возникнуть угроза жизни космонавту. Имитировать такие ситуации на существующих тренажерах практически невозможно из-за отсутствия таких режимов работы тренажера и из-за опасности возникновения угрозы здоровью и жизни космонавту при создании такого режима.

Опасными факторами являются снижение давления в скафандре, повышение концентрации углекислого газа, существенное повышение или снижение температуры.

Для демонстрации таких ситуаций необходимо создание виртуальной модели вида из скафандра, вида на пульт, вида со стороны на космонавта в скафандре, изменение изображения в зависимости от влияния опасного фактора на организм человека.

Разработанная модель ситуации может быть применена при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации.

Задачи по управлению перспективными средствами

Для решения данных задач целесообразно применение интерактивной виртуальной реальности, которая предполагает возможность предоставления пользователю возможности управления, которые он мог или захотел выполнить, если бы действительно находился в созданном искусственном мире.

1. Управление перспективными средствами перемещения космонавтов

При выполнении космонавтами ВКД существует риск отрыва космонавта в скафандре от станции. Для обеспечения безопасности ВКД проводятся работы по созданию устройства спасения космонавта (УСК) типа «Сейфер» [10]. Перед выводом устройства в космос, должна быть проведена подготовка космонавтов по управлению данным устройством в различных плановых и нештатных ситуациях.

Анализ возможностей существующих имитаторов условий космического полета показывает, что гидролаборатория, самолет-лаборатория и тре-

нажер «Выход-2» не позволяют имитировать свободные движения УСК с космонавтом из-за особенностей моделирования невесомости на этих средствах.

Целесообразно моделировать движение УСК в различных режимах и изображение представлять космонавту с помощью средств виртуальной реальности.

Для решения данной задачи необходимо:

- моделирование движения УСК в штатных и нештатных режимах функционирования;
- моделирование вида из скафандра части поверхности модуля станции;
- моделирование движения космонавта относительно станции;
- моделирование изменения положения УСК и космонавта при столкновении с элементами поверхности станции;
- моделирование изменения параметров относительного движения УСК после столкновения.

Сценарий сюжета: космонавт находится на внешней поверхности станции, управляет положением и ориентацией УСК, управляет параметрами движения УСК, движется с небольшой скоростью относительно станции, вид соответствует направлению взгляда космонавта, после облета станции космонавт выполняет операции ориентации УСК и его движения в требуемом направлении, при этом изображение в поле зрения космонавта изменяется в соответствии с параметрами его ориентации и движения.

При моделировании аварийных ситуаций необходимо дополнительно моделировать движение УСК при различных отказах двигателей, условия столкновения космонавта со станцией, движение после столкновения с различными деталями поверхности станции.

Разработанная модель ситуации может быть применена при проведении подготовки космонавтов в составе групп специализации и при подготовке экипажей.

2. Управление луноходами на поверхности Луны

При исследовании и освоении Луны предполагается широкое использование специальных технических средств – планетоходов (луноходов) различного функционального назначения. Луноходы могут быть обитаемыми с дистанционным или автоматическим управлением, либо с выносным пультом. Рассматривается возможность применения обитаемых луноходов как с герметичной, так и с открытой кабиной. Предполагается достаточно широкое участие космонавтов в контуре управления луноходами как при дистанционном управлении (с лунного орбитального модуля, лунной базы), так и при непосредственном (ручном) управлении. Таким образом, становится актуальной задача подготовки космонавтов к управлению этими средствами и разработка соответствующих тренажеров [11, 12].

Физическое создание на Земле всего комплекса условий деятельности космонавтов на других планетах (Луна, Марс) практически невозможно.

Для обеспечения возможности отработки задачи управления луноходами необходима визуализация следующих изображений:

- вид через остекление кабины лунохода;
- вид окружающей поверхности с телекамер, установленных на внешней поверхности лунохода;
- вид с телекамер, установленных внутри кабины лунохода;
- вид панелей управления.

Сценарии моделируемых сюжетов зависят от способа управления, реализованного в конкретном луноходе:

- дистанционное управление с борта лунной станции, с борта лунной базы, с Земли;
- непосредственное управление с рабочего места внутри лунохода.

Разработанные виртуальные изображения могут быть реализованы в тренажерах или стендах и применены на всех этапах подготовки космонавтов.

3. Управление робототехническими системами

Для повышения эффективности деятельности космонавтов на борту перспективных космических систем предполагается использование робототехнических систем (РТС) различного типа и назначения [13, 14]. Одним из факторов, влияющих на эффективность целевого применения РТС, является подготовленность космонавтов к управлению и обслуживанию данных систем, поэтому задачи подготовки космонавтов к работе с РТС приобретают актуальность.

Для выполнения целевых задач на внешней поверхности орбитальной станции могут быть применены роботы различного конструктивного исполнения:

- транспортно-манипуляционные роботы;
- свободнолетающие спутники;
- манипуляторы.

Для эксплуатации РТС на борту космического объекта космонавты должны уметь управлять всеми имеющимися РТС в различных режимах, в том числе в нештатных ситуациях.

Существующие ТСПК не позволяют обеспечить физическое моделирование динамики перемещения и выполнения целевых операций РТС, аналогичное условиям невесомости на орбитальной станции.

Для обеспечения возможности отработки задачи управления роботами необходима визуализация следующих изображений:

- вид панелей управления;
- вид с телекамер, установленных на роботах;
- вид поверхности станции с телекамер, установленных на внешней поверхности станции;
- вид со стороны на участок поверхности, где находится робот;
- вид со стороны на положение свободнолетающего спутника относительно станции.

Для решения задач подготовки необходимо:

- моделировать динамику движения РТС и изменения видимой поверхности станции при отработке операций, предусмотренных программами полетного задания с учетом ввода управляющих воздействий со стороны космонавта;
- осуществлять управление с имитацией частичной видимости РТС и манипулятора из гермоотсеков орбитальной станции;
- отображать в реальном масштабе времени информацию от телевизионных систем РТС, информацию о положении РТС на поверхности станции;
- формировать зоны видимости и изображения элементов поверхности станции, которые находятся в поле зрения телевизионных камер РТС;
- отображать в реальном масштабе времени изображения станции и положение спутника возле него (динамический режим);
- отображать изображения части поверхности станции, находящейся в поле зрения комплекса наблюдения спутника, которым управляет космонавт;
- моделировать развороты поля зрения комплекса наблюдения или трансфокацию объектива прибора наблюдения для повышения детальности изображения.

Сценарии сюжета: космонавт находится за пультом управления, на мониторы выводятся изображения от различных телевизионных камер, в иллюминаторы выводится изображение видимой части поверхности станции. Для наглядности необходимо синтезировать трехмерное изображение станции и РТС на ее поверхности или на определенном расстоянии от ее поверхности. Космонавт управляет перемещениями РТС, движениями манипуляторов РТС, приборами наблюдения. Изображение в поле зрения космонавта изменяется в соответствии с параметрами управления, передаваемыми на РТС.

Разработанные виртуальные изображения могут быть реализованы в тренажерах или стендах и применены на всех этапах подготовки космонавтов.

Информационное обеспечение процесса подготовки

Для решения данной группы задач целесообразно применение пассивной виртуальной реальности, которая предполагает возможность предоставления пользователю графического и звукового сопровождения и не предполагает управляющих воздействий от человека.

1. Демонстрация визуальной обстановки при открытии выходного люка (вид космоса в открытый люк)

Все космонавты отмечают большое эмоциональное возбуждение при первом открытии выходного люка (ВЛ) и выходе из шлюзового отсека. Открывающийся вид – глубокий черный космос, яркое солнце, вид Земли, освещенной или в тени. Первую встречу с открытым космосом каждый космонавт воспринимает по-своему, но никого она не оставляет равнодушным.

Демонстрация данных сюжетов целесообразна для психологической подготовки космонавтов к выходу, обеспечению психологической устойчивости. Вид открытого космического пространства (с элементами МКС, видами Земли, Луны, звездного неба) может оказать сильное психологическое влияние на космонавта, особенно при первом выходе в открытый космос. Также при открытии ВЛ возможна визуализация процесса выхода пыли из шлюзового отсека в космос.

В настоящее время эти задачи не обрабатываются на ТСПК, т.к. имеющиеся средства не позволяют имитировать визуальную обстановку, соответствующую реальной ситуации.

Для демонстрации визуальной обстановки, которая открывается космонавту при выходе из ВЛ, необходимо осуществлять моделирование вида из скафандра части поверхности станции, расположенной рядом с ВЛ, светотеневой обстановки, приборов и оборудования, размещенных на внешней поверхности станции, звездного неба, Земли, Луны и т.д.

Сценарий сюжета: космонавт открывает люк, в поле зрения предъядляется изображение люка изнутри модуля. В проем люка космонавт видит внешнюю обстановку: глубокий космос, часть поверхности Земли, освещенную или затененную внешнюю поверхность станции, космонавт наполовину выходит из ВЛ, закрепляется с помощью страховочных фалов. Космонавту транслируется картинка: солнечные батареи, антенны, приборы и оборудование, расположенные на внешней поверхности станции, звездное небо, Земля, Луна (360° по горизонтали, 180° по вертикали). Космонавт осуществляет осмотр внешней поверхности станции в районе выходного люка, поворачиваясь на 360° по горизонтали, также осуществляет осмотр верхней полусферы.

Данные модели позволят ознакомить космонавта с возможными ситуациями, которые возникают при открытии выходного люка.

Разработанная модель демонстрации визуальной обстановки может быть применена при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации.

2. Демонстрация перехода через терминатор на орбите (переход свет–тьнь)

Во время выполнения ВКД освещенность МКС периодически изменяется, станция то заходит в тень, то выходит на освещенную часть орбиты. Космонавты отмечают, что переход осуществляется достаточно быстро. При входе в тень необходимо включать светильники на скафандре, поднимать светофильтр. При выходе из тени осуществлять обратные операции. При невыполнении данных требований возможно совершение неправильных действий, что может привести к аварийным ситуациям и даже создать угрозу здоровью космонавтов из-за засветки лица и глаз солнечным излучением. Целесообразно для ознакомления демонстрировать космонавтам данную ситуацию и действия космонавта при входе в тень и выходе из нее.

Сценарий сюжета: космонавт выполняет монтажные операции, рабочая область освещена Солнцем, в реальном масштабе времени освещенность начинает уменьшаться до величины, соответствующей освещенности на теневом участке орбиты, включаются светильники, расположенные на скафандре, и космонавту демонстрируется данная световая обстановка. Далее космонавт находится в скафандре с поднятым светофильтром, освещенность создается только от светильников скафандра, станция выходит из зоны тени, освещенность возрастает, моделируется яркость, соответствующая солнечному участку орбиты, которая может привести к ослеплению. Космонавт опускает светофильтр и выполняет заданную целевую операцию.

Данная ситуация может демонстрироваться при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации.

3. Демонстрация выполнения целевых операций на внешней поверхности станции (взгляд из скафандра, взгляд со стороны, обзор внешней поверхности модуля или места проведения работ, транспортировка неработоспособного оператора)

Внекорабельная деятельность является полетной операцией (операция «Выход»), выполняемой космонавтами, снаряженными в скафандры, в негерметичных отсеках орбитальной пилотируемой станции, открытом космосе или на поверхности планет. Для качественного выполнения целевых операций ВКД необходима тщательная и подробная подготовка к их осуществлению. В определенных случаях для качественной подготовки космонавтов к выполнению целевых операций ВКД имеет смысл рассмотреть такие операции с разных ракурсов: взгляд из скафандра, взгляд со стороны, обзор модуля или места проведения работ.

В настоящее время эти задачи не отрабатываются на тренажерах, т.к. имеющиеся средства не позволяют имитировать визуальную обстановку: взгляд из скафандра, взгляд со стороны, обзор модуля или места проведения работ.

Взгляд из скафандра. В этом случае космонавту демонстрируется картинка последовательности выполнения работ в соответствии с циклограммой конкретного выхода. Осуществляется детальный показ операций, необходимая последовательность действий, перемещений космонавта, применения требуемого инструмента, использования необходимого оборудования и т.д.

В результате данной имитации визуальной обстановки космонавт получает информацию о конкретном выходе в открытый космос (ОК), его особенностях, последовательности действий, используемом оборудовании и инструменте. Данная информация будет хорошим дополнением к тренировкам в ГЛ и на тренажере «Выход-2».

Взгляд со стороны. В этом случае космонавту демонстрируется картинка последовательности выполнения работ конкретного выхода. Вид картинки дается с высоты нескольких метров над работающим космонавтом, как будто съемка ведется со спутника-инспектора. Осуществляется детальный

показ действий космонавта, его перемещения, использование необходимого оборудования и инструмента, последовательность действий космонавта и т.д.

В результате данной имитации визуальной обстановки космонавт получает информацию о конкретном выходе в ОК, его особенностях, последовательности действий, используемом оборудовании и инструменте.

Данная информация может также использоваться для контроля за действиями космонавта при осуществлении ВКД.

Обзор модуля или места проведения работ. В этом случае демонстрируется картинка поверхности станции с размещенными на ней солнечными батареями, антеннами, оборудованием и т.д. Вид картинки дается с высоты нескольких метров над станцией, как будто съемка ведется со спутника-инспектора. На картинку может быть выведен любой модуль МКС или участок, где будут проводиться работы, с любого ракурса и расстояния, с различной детализацией.

В результате данной имитации визуальной обстановки космонавт получает информацию о состоянии внешней поверхности станции, имеющемся на ней оборудовании и агрегатах. Данная информация представляет особый интерес для космонавта, готовящегося к выполнению очередного выхода на внешнюю поверхность МКС, т.к. обстановка на внешней поверхности МКС постоянно меняется.

Разработанная модель демонстрации визуальной обстановки может быть применена при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации.

4. Визуальная демонстрация правильной работы с инструментом, оборудованием

В процессе ВКД от космонавтов требуются знание и умение выполнять большое количество типовых и целевых операций, от качества которых зависят решение поставленных задач и жизнь космонавтов. Эти навыки невозможны без знания инструмента для ВКД и умения работать с ним. В связи с этим возникает необходимость качественной подготовки космонавтов к работе с инструментом для ВКД, в том числе и с применением VR.

Инструмент и приспособления широко применяются для удобства и безопасности выполнения следующих задач ВКД: монтаж, демонтаж, замена, ремонт, крепление, и т.п. различного оборудования и агрегатов на внешней поверхности МКС; передвижение и фиксация космонавтов на поверхности МКС; перемещение оборудования к месту работы и обратно.

Данная задача отличается от рассмотренной выше задачи «Демонстрация выполнения целевых операций на внешней поверхности станции» необходимостью большей детализации в части конструкции и использования инструмента и оборудования для ВКД. Для решения этой задачи необходимо:

– 3D-моделирование конструкции и основных принципов работы инструмента и оборудования для ВКД с текстовыми и аудиопояснениями;

- демонстрация мест расположения (или хранения) инструмента и оборудования для ВКД;
- демонстрация порядка формирования транспортировочных укладок при подготовке к ВКД, извлечение, страховка, фиксация и порядок возврата инструмента в укладку при работе;
- правильные (рациональные) приемы работы с инструментом и оборудованием, включая последовательность действий (технологии применения) при работе, выбор позы, способ фиксации космонавта в скафандре (за поручни, в «якоре», выносном рабочем месте и т.д.), способы захвата инструмента рукой в перчатке, возможные опасные ситуации и т.д.

Визуальная демонстрация правильной работы с инструментом и оборудованием может быть применена при проведении подготовки космонавтов на всех этапах подготовки космонавтов, включая бортовые тренировки.

5. Подготовка шлюзового отсека к выходу в ОК

Подготовка шлюзового отсека проводится перед каждым выходом космонавтов в ОК и является важным этапом в циклограмме подготовки станции к выполнению ВКД. Особенностью подготовки шлюзового отсека к ВКД является то обстоятельство, что существующие тренажеры не обеспечивают максимального подобия интерьера шлюзового отсека и размещенного в нем оборудования, используемого при шлюзовании перед и после ВКД. Космонавты зачастую только на борту МКС в полной мере видят и выполняют комплекс мероприятий по подготовке отсека к шлюзованию в реальном интерьере. В связи с этим тренировки на виртуальном тренажере, позволяющие максимально правдоподобно ознакомиться с реальным размещением оборудования в шлюзовых отсеках и особенностями его использования, в процессе подготовки к ВКД могут значительно повысить эффективность обучения космонавтов.

При создании данного тренажера целесообразно моделировать визуальную обстановку шлюзовых отсеков с установленным внутри них оборудованием, используемым в процессе подготовки к шлюзованию и ВКД. Оборудование должно иметь возможность активации и при необходимости перемещения внутри отсеков. Осуществляется детальный показ действий космонавта от первого лица, его перемещения, использование необходимого оборудования и инструмента внутри отсека, последовательность действий космонавта и т.д.

Разработанная модель демонстрации визуальной обстановки может быть применена при проведении подготовки космонавтов на этапе группы, при подготовке космонавтов в экипаже и в качестве восстановительного занятия на борту МКС.

6. Демонстрация всего цикла ВКД, включающая подготовку скафандров, подготовку шлюзового отсека, шлюзование, открытие ВЛ, выполнение операций ВКД (всего комплекса операций), закрытие ВЛ, обратное шлюзование, выполнение работ после выхода в ОК

Подготовка к ВКД занимает достаточно длительный промежуток времени. Космонавты выполняют большой объем разноплановой работы в разных модулях МКС. Интервалы времени между выполнением некоторых задач могут составлять несколько дней.

Для обеспечения возможности построения адекватной модели процесса подготовки, проведения и завершения ВКД целесообразно построить последовательный видеоряд всех операций и действий космонавтов, выполняемых в целях ВКД.

Данная информационная модель может быть использована на всех этапах подготовки космонавтов. Космонавты, имеющие опыт выходов в открытый космос, отмечали необходимость использования такой модели на борту при подготовке к очередному выходу.

Модель компьютерной имитации ВКД может объединять все предложенные выше модели аварийных и информационных задач, объединенных в единый информационный комплекс.

Выводы

1. На основе анализа задач подготовки космонавтов к ВКД и деятельности космонавтов в процессе ВКД выделены классы задач, физически сложно моделируемые на ТСПК, которые могут быть решены с помощью средств виртуальной реальности.

2. Рассмотрены задачи по аварийным ситуациям, которые могут возникать в процессе перемещения космонавтов по внешней поверхности космических объектов, при выполнении типовых или целевых операций ВКД, при работе в опасных зонах на внешней поверхности, при возникновении проблем со скафандром и снаряжением. Разработаны соответствующие модели ситуаций.

3. Рассмотрены задачи по управлению перспективными объектами: средствами перемещения космонавтов, луноходами, роботами, свободнолетающими спутниками, манипуляторами. Разработанные виртуальные изображения могут быть реализованы в тренажерах и применены на всех этапах подготовки космонавтов.

4. Рассмотрены вопросы информационного обеспечения процесса подготовки космонавтов. Основными из них является демонстрация:

- визуальной обстановки при открытии выходного люка;
- перехода через терминатор на орбите (свет–тьма);
- выполнения целевых операций на внешней поверхности станции;
- правильной работы с инструментом, оборудованием;
- подготовка шлюзового отсека к выходу;
- полной циклограммы ВКД.

Предлагаемые к реализации в системе ТСПК компьютеризированные решения по построению модели отображения визуальной обстановки могут

быть использованы в ознакомительных и демонстрационных целях при проведении подготовки космонавтов на этапе ОКП и при подготовке космонавтов, не имеющих опыта ВКД, в составе групп специализации, а также при подготовке в составе экипажей.

5. Предлагаемые ситуационные модели, сюжетные сценарии, виртуальные изображения могут быть реализованы в существующих или перспективных тренажерах (стендах) и использованы на различных этапах подготовки космонавтов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Обзор технологий визуальной имитации в тренажерных системах / А.П. Кручинина, В.В. Лагонов, В.А. Чертополохов // Пилотируемые полеты в космос. – 2019. – № 3(32). – С. 56–67. DOI 10.34131/MSF.19.3.89-107.
- [2] Liu, Yuqing & Chen, Shanguang & Jiang, Guohua & Zhu, Xiuqing & An, Ming & Chen, Xuewen & Zhou, Bohe & Xu, Yubin. (2010). VR Simulation System for EVA Astronaut Training. 10.2514/6.2010-8696. DOI: 10.2514/6.2010-8696. Электронный ресурс https://www.researchgate.net/publication/268568273_VR_Simulation_System_for_EVA_Astronaut_Training (дата обращения 10.11.2020).
- [3] Everson, Timothy, Christopher McDermott, Aaron Kain, Cesar Fernandez, and Ben Horan. 2017. “Astronaut Training Using Virtual Reality in a Neutrally Buoyant Environment”. *KnE Engineering* 2 (1), 319–27. Электронный ресурс <https://doi.org/10.18502/keg.v2i2.632>.
- [4] Sandra K. Moore, Matthew A. Gast, 21st Century extravehicular activities: Synergizing past and present training methods for future spacewalking success, *Acta Astronautica*, Volume 67, Issues 7–8, 2010, Pages 739–752. Электронный ресурс <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2010.06.016> (дата обращения 25.09.2020).
- [5] Smith, Jeffrey & Boyle, Richard. NASA Virtual GloveboX (VGX): Advanced Astronaut Training and Simulation System for the International Space Station. DOI: 10.2514/6.2001-5105. Электронный ресурс https://www.researchgate.net/publication/24328397_NASA_Virtual_GloveboX_VGX_Advanced_Astronaut_Training_and_Simulation_System_for_the_International_Space_Station (дата обращения 09.09.2020).
- [6] Направления применения компьютерного моделирования при подготовке космонавтов к ВКД / Онуфриенко Ю.И., Алтунин А.А., Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Жамалетдинов Н.Р., Коренной В.С. // Пилотируемые полеты в космос. Материалы XII Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 219–221.
- [7] Виртуальная реальность: общие понятия, системы трекинга. Мир ПК, 2008, № 04, 25.06.2008. В. Холодкова. Электронный ресурс <https://www.osp.ru/rcworld/2008/04/5175003> (дата обращения 28.10.2020).
- [8] Анализ основных результатов внекорабельной деятельности экипажей МКС / Крючков Б.И., Алтунин А.А., Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С., Ярополов В.И. // Пилотируемые полеты в космос. – 2017. – № 1(22). – С. 56–67.
- [9] Статистический анализ массогабаритных характеристик научной аппаратуры, устанавливаемой космонавтами при внекорабельной деятельности / Долгов П.П.,

- Иродов Е.Ю., Коренной В.С. // Пилотируемые полеты в космос. – 2015. – № 4(17). – С. 48–55.
- [10] Установки для перемещения в открытом космосе. К. Размыслович. Электронный ресурс <https://kiri2ll.livejournal.com/48726.html> (дата обращения 28.10.2020).
- [11] Подход к проведению послеполетного эксперимента по управлению планетоходом / Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С. и др. // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – № 2(35). – С. 47–60.
- [12] Экспериментальные исследования возможности применения систем виртуальной реальности при моделировании на центрифуге управляемого движения лунохода / Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С. и др. // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – № 3(36). – С. 91–108.
- [13] Подход к обоснованию задач робототехнических систем для работы в открытом космосе / Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С. // Пилотируемые полеты в космос. – 2015. – № 3(16). – С. 35–42.
- [14] Вопросы безопасности применения робототехнической системы космического назначения в процессе осуществления внекорабельной деятельности / Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С. // Пилотируемые полеты в космос. – 2016. – № 1(18). – С. 99–103.

REFERENCES

- [1] Review of visual imitation technologies in simulation systems / A.P. Kruchinina, V.V. Latonov, V.A. Chertopolokhov // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2019. – No 3(32). – pp. 56–67. DOI 10.34131/MSF.19.3.89-107.
- [2] Liu, Yuqing & Chen, Shanguang & Jiang, Guohua & Zhu, Xiuqing & An, Ming & Chen, Xuewen & Zhou, Bohe & Xu, Yubin. (2010). VR Simulation System for EVA Astronaut Training. 10.2514/6.2010-8696. DOI: 10.2514/6.2010-8696. Electronic source https://www.researchgate.net/publication/268568273_VR_Simulation_System_for_EVA_Astronaut_Training (accessed date 10.11.2020).
- [3] Everson, Timothy, Christopher McDermott, Aaron Kain, Cesar Fernandez, and Ben Horan. 2017. “Astronaut Training Using Virtual Reality in a Neutrally Buoyant Environment”. *KnE Engineering* 2 (1), 319-27. Electronic source <https://doi.org/10.18502/keg.v2i2.632>.
- [4] Sandra K. Moore, Matthew A. Gast, 21st Century extravehicular activities: Synergizing past and present training methods for future spacewalking success, *Acta Astronautica*, Volume 67, Issues 7–8, 2010, Pages 739–752. Electronic source <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2010.06.016> (accessed date 25.09.2020).
- [5] Smith, Jeffrey & Boyle, Richard. NASA Virtual GloveboX (VGX): Advanced Astronaut Training and Simulation System for the International Space Station. DOI: 10.2514/6.2001-5105. Electronic source https://www.researchgate.net/publication/24328397_NASA_Virtual_GloveboX_VGX_Advanced_Astronaut_Training_and_Simulation_System_for_the_International_Space_Station (accessed date 09.09.2020).
- [6] Application of computer-based simulation in training cosmonauts for EVA / Onufrienko Yu.I., Altunin A.A., Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Zhamaletdinov N.R., Korennoy V.S. // Manned Space Flights. Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference. – 2017. – pp. 219–221.

- [7] Virtual reality: general concepts, tracking systems. PC world, 2008, No 04, 25.06.2008. V. Kholodkova. Electronic source <https://www.osp.ru/pcworld/2008/04/5175003> (accessed date 28.10.2020).
- [8] Main results of EVA performed by the ISS crews / Kryuchkov B.I., Altunin A.A., Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Korennoy V.S., Yaropolov V.I. // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2017. – No 1(22). – pp. 56–67.
- [9] Statistical analysis of mass and dimensions parameters of scientific equipment installed by cosmonauts during extravehicular activity/ Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Korennoy V.S. // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2015. – No 4(17). – pp. 48–55.
- [10] Cosmonaut maneuvering units. K. Razmyslovich. Electronic source <https://kiri2ll.livejournal.com/48726.html> (accessed date 28.10.2020).
- [11] An approach to carrying out a post-flight experiment on controlling an on-planet rover / Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Korennoy V.S. et al. // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2020. – No 2(35). – pp. 47–60.
- [12] Experimental studies of the potential use of virtual reality systems when modeling the lunokhod controlled movement on the centrifuge / Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Korennoy V.S. et al. // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2020. – No 3(36). – pp. 91–108.
- [13] Approach to the grounding of the tasks for robotic systems to work in open space / Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Korennoy V.S. // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2015. – No 3(16). – pp. 35–42.
- [14] Safe use of a space robotic system during extravehicular activity / Korennoy V.S., Dolgov P.P., Irodov E.Yu. // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2016. – No 1(18). – pp. 99–103.