

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 629.78.072.8

DOI 10.34131/MSF.19.4.38-47

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИЗУАЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ И РЕЖИМА ВИЗУАЛЬНО-ПРИБОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ ТРЕНАЖЕРЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РУЧНОГО СБЛИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПИЛОТИРУЕМОГО КОРАБЛЯ С МКС

А.И. Масалкин, С.В. Игнатъев

Канд. техн. наук, доцент А.И. Масалкин; канд. техн. наук, доцент
С.В. Игнатъев (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматриваются вопросы совершенствования программно-аппаратных средств формирования, обработки, передачи и воспроизведения визуальной информации и имитации визуально-приборных измерений. Предложен вариант функциональной схемы модернизированной системы моделирования визуальной обстановки в иллюминаторе (блистере) бытового отсека тренажера сближения, причаливания и стыковки «Дон-Союз», базирующийся на использовании современных технологий виртуальной реальности.

Ключевые слова: тренажеры, системы имитации визуальной обстановки, устройства воспроизведения изображений, моделирование визуальных условий, виртуальная реальность, трекинг.

Simulation of the Visual Environment and the Mode of Visual Instrumental Measurements on the Dedicated Simulator When Performing a Manual Rendezvous of the Manned Transport Vehicle with the ISS. A.I. Masalkin, S.V. Ignatiev

The paper deals with issues related to the improvement of software and hardware of the generation, processing, transmission and reproduction of visual information and simulation of visual instrumental measurements. It presents a variant of the functional scheme of the upgraded system to simulate the visual environment in the window (blister) of the inhabited module of the “Don-Soyuz” simulator (rendezvous, berthing and docking simulator) on the basis of existing virtual reality technologies.

Keywords: simulators, visual environment simulation systems, visual reproduction equipment, visual conditions simulation, virtual reality, tracking.

Одним из перспективных направлений в развитии технических средств подготовки космонавтов является применение новейших достижений техники и передовых технологий в области систем имитации и моделирования. Этому способствуют стремительное развитие в последние годы программно-аппаратных средств машинной графики, технологий виртуальной реальности, появление на рынке высокотехнологичных аппаратных средств формирования, передачи, обработки и воспроизведения информации.

Для обеспечения отработки космонавтом-оператором на тренажере профессиональных навыков работы с оптико-визуальными приборами транспортного пилотируемого корабля необходимо, чтобы система имитации внешней визуальной обстановки тренажера обеспечивала адекватность моделирования визуальных условий операторской деятельности при выполнении полетных операций на этапе сближения и стыковки транспортного пилотируемого корабля с МКС, а также возможность визуального контроля выполняемых операций инструктором.

В настоящее время в состав системы имитации визуальной обстановки (СИВО) тренажера сближения, причаливания и стыковки «Дон-Союз» входит изделие СК-2 «Блистер», которое обеспечивает совместно с другими средствами тренажера имитацию визуальной обстановки в иллюминаторе (блистере) бытового отсека и имитаторе лазерного дальномера (приборе ЛДИ-11Т).

Как свидетельствует многолетний опыт эксплуатации СИВО тренажера «Дон-Союз» в части имитации визуальной обстановки в блистере бытового отсека, актуальность проведения работ по модернизации технических и программных средств тренажера, используемых при подготовке космонавтов к работе с лазерным дальномером ЛДИ-11, обусловлено наличием существующих недостатков:

- низкая надежность оптико-механического блока (ОМБ) изделия СК-2 «Блистер» в части механизмов электрических приводов двухступенного карданового подвеса и аппаратных средств управления приводами ОМБ по причине выработки технического ресурса;

- недостаточные точность и быстродействие отработки перемещения объекта стыковки на фоне объектов внешней космической среды по каналам рысканья и тангажа с помощью электродвигателей и редукторов;

- ограничения используемой в СИВО системы прицеливания и определения дальности до объекта стыковки, значительно снижающих точность выполнения операций при работе с данной системой;

- низкое качество изображения объекта стыковки, наблюдаемого в правом окуляре лазерного дальномера ЛДИ-11 из-за заметной для глаза человека пиксельной структуры изображения;

- отсутствие возможности оперативного визуального контроля изображения, наблюдаемого космонавтом в поле зрения прибора ЛДИ-11Т, на мониторе пульта контроля и управления тренажера во время проведения тренировки.

Поэтому целью модернизации системы имитации визуальной обстановки в блистере бытового отсека тренажера «Дон-Союз» является устранение указанных недостатков в интересах улучшения качества моделирования условий операторской деятельности экипажей и расширения возможностей инструктора по контролю и оценке указанной деятельности.

Исходя из вышеизложенного, можно выделить основные направления совершенствования аппаратных и программных средств СИВО тренажера:

- реализация задач, решаемых изделием СК-2 «Блистер», без использования двухступенного карданового подвеса и его механизмов электрического привода;
- моделирование режима прицеливания лазерного дальномера ЛДИ-11, соответствующего работе штатного изделия;
- устранение заметности пиксельной структуры изображения объекта стыковки в правом окуляре прибора ЛДИ-11Т;
- обеспечение возможности визуального контроля изображения в поле зрения прибора ЛДИ-11Т на мониторе пульта контроля и управления тренажера.

Детальный анализ направлений совершенствования показывает, что в основу их практической реализации может быть положено решение следующих задач:

1. Использование двухканального варианта формирования изображения визуальной обстановки: для блистера бытового отсека и для прибора ЛДИ-11Т.
2. Модернизация подсистемы отображения визуальной информации в блистере для наблюдения коллимированного изображения.
3. Разработка и изготовление усовершенствованного имитатора лазерного дальномера – прибора ЛДИ-11Т.
4. Разработка и изготовление подсистемы инфракрасного трекинга пространственного положения прибора ЛДИ-11Т.
5. Доработка специального программного обеспечения системы компьютерной генерации изображений (СКГИ) в части управления визуальной моделью канала формирования изображения объекта стыковки в поле зрения прибора ЛДИ-11Т.

Функциональная схема системы имитации визуальной обстановки в блистере бытового отсека тренажера «Дон-Союз», которая свободна от недостатков, указанных выше, изображена на рисунке. Эта схема представляет один из возможных вариантов модернизации существующих технических и программных средств СИВО тренажера, используемых при подготовке космонавтов по работе с лазерным дальномером ЛДИ-11.

Как следует из этой схемы, формирование и отображение изображения объекта стыковки в блистере бытового отсека для наблюдения визуальной обстановки невооруженным глазом производится с помощью аппаратно-программных и оптических средств существующей СИВО тренажера «Дон-Союз». Для этой цели используются:

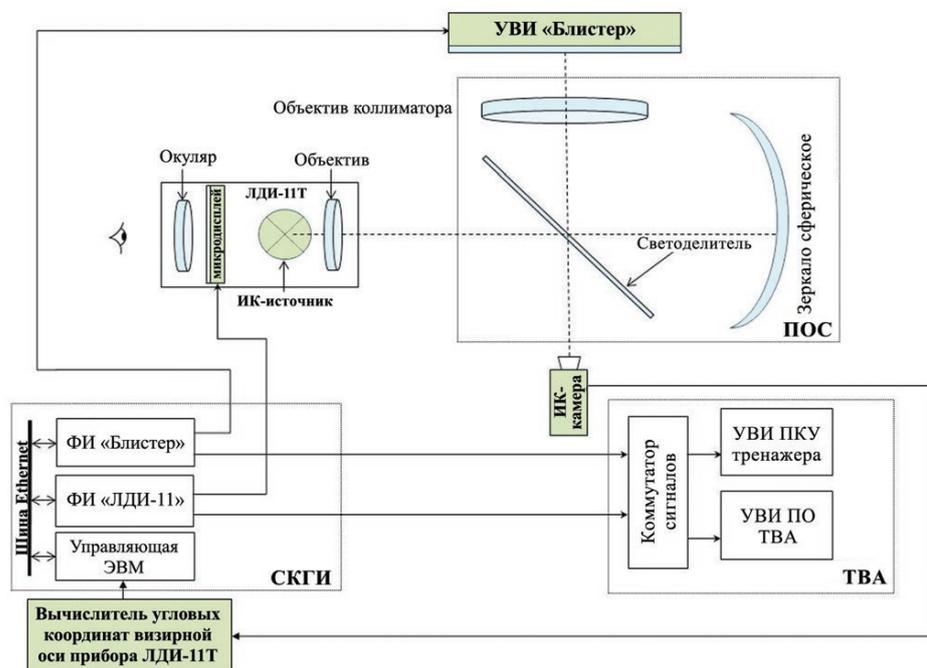


Рисунок. Функциональная схема системы имитации визуальной обстановки в блистере бытового отсека тренажера «Дон-Союз»

- формирователи изображений (ФИ) из состава СКГИ;
- устройство воспроизведения изображений (УВИ) – монитор «Блистер-фон»;
- подсистема оптического сопряжения (ПОС), содержащая объектив, светоделитель и зеркало сферическое.

Принципиальное отличие СИВО от существующей в настоящее время на тренажере заключается в использовании метода моделирования визуальной обстановки в окуляре лазерного дальномера ЛДИ-11. Этот метод реализуется при разработке и изготовлении имитатора лазерного дальномера.

Одним из основных направлений работ по модернизации изделия СК-2 «Блистер» является разработка программно-аппаратных средств канала имитации лазерного дальномера и его интеграция в систему компьютерной генерации изображений «Ариус-СТ2».

Практическое решение этой сложной технической задачи становится возможным на основе применения современных технологий виртуальной реальности. В системах виртуальной реальности, как известно, с помощью компьютерных средств создается модельная трехмерная (3D) окружающая среда, реалистично реагирующая на взаимодействие с человеком.

К числу современных технологий виртуальной реальности, которые могут быть применены при разработке и создании прибора ЛДИ-11Т, сле-

дует отнести технологии построения системы позиционирования и технологии представления визуальной информации в поле зрения имитируемого прибора.

При разработке и создании имитатора лазерного дальномера необходимо выделить две основные группы задач:

- выбор системы управляющих сигналов для формирователя изображений в приборе ЛДИ-11Т, несущих информацию о пространственном положении визирной оси имитируемого дальномера;
- выбор способа отображения визуальной информации в поле зрения окуляра прибора ЛДИ-11Т.

Важной задачей при разработке имитатора лазерного дальномера является выбор принципов построения системы слежения за пространственным положением визирной оси имитатора относительно иллюминатора бытового отсека. В основу построения этой системы положена технология трекинга, обеспечивающая позиционирование реальных объектов в виртуальном мире [2].

При выборе системы трекинга необходимо принимать во внимание следующие технические требования:

- иметь как можно большую точность;
- работать с как можно большей частотой (не менее 20 Гц) и как можно с меньшей задержкой;
- быть устойчивой к помехам: световым, звуковым, тепловым, магнитным полям и радиоволнам;
- иметь как можно меньший размер;
- иметь как можно меньше проводов и дополнительных частей, которые надо было бы монтировать на устройства, используемые пользователем.

Информация о положении визирной оси имитатора лазерного дальномера относительно блистера бытового отсека используется для расчета перспективно правильной проекции имитируемых объектов внешней космической среды в поле зрения лазерного дальномера. Для получения этой информации система трекинга в реальном времени вычисляет текущее положение визирной оси прибора и передает координаты системе визуализации, которая, в свою очередь, формирует изображение 3D-сцены в соответствии с угловым положением визирной оси прибора.

Детальный анализ вариантов построения имитатора лазерного дальномера показал, что наиболее рациональным и доступным техническим решением при его создании следует считать применение системы оптического инфракрасного (ИК) трекинга, наиболее полно удовлетворяющей вышеперечисленным требованиям.

Одним из примеров разработки и применения таких систем является система инфракрасного трекинга компании A.R.T. [3], отдельные компоненты которой могут быть использованы при разработке и создании имитатора лазерного дальномера. Эта система включает в себя:

- активные оптические мишени;
- инфракрасные трекинговые камеры ARTtrack;
- контроллер PC Dtrack.

Активные оптические мишени представляют собой инфракрасные LED источники внутри светорассеивающих сфер.

Инфракрасная оптическая трекинговая камера модельного ряда ARTtrack содержит встроенный модуль распознавания и обеспечивает:

- получение высокоскоростного оптического изображения активных мишеней в инфракрасном спектре;
- определение координат мишеней с высокой точностью;
- незначительную задержку при передаче данных по протоколу Ethernet;
- устойчивость к электромагнитным, электрическим и звуковым искажениям;
- формирование выходного сигнала 100 *Mbit/s* (витая пара).

Контроллер PC Dtrack, выполненный на базе персонального компьютера, предназначен для подключения системы оптического трекинга к компьютерным системам визуализации и представляет собой ПК с установленным программным обеспечением, а также средства калибровки и средства взаимодействия с системой трекинговых камер.

Применительно к функционированию в составе модернизированной СИВО блистера бытового отсека контроллер PC Dtrack обеспечивает вычисление угловых координат визирной оси прибора ЛДИ-11Т и формирование сигналов управления визуальной моделью формирователя изображений канала имитации лазерного дальномера.

Практическая реализация рассмотренного технического решения по управлению визуальной моделью ФИ прибора ЛДИ-11Т позволяет избавиться от использования громоздких механизмов электрических приводов двухступенного карданового подвеса и аппаратных средств управления приводами ОМБ изделия СК-2 «Блистер».

Другой важной технической задачей разработки имитатора лазерного дальномера является выбор способа представления визуальной информации в поле зрения окуляра прибора ЛДИ-11Т. Решение этой задачи требует учета величины поля зрения дальномера и условий, исключающих заметность глазом пиксельной структуры наблюдаемого изображения визуальной обстановки.

При использовании монитора в качестве УВИ блистера бытового отсека необходимо принимать во внимание разрешение LCD-матрицы, яркость, контрастность, время отклика, интерфейс подключения к источнику видеосигналов и др. Одним из важных параметров монитора является разрешение LCD-матрицы $R_{\text{мон}}$. При выборе этого параметра необходим учет величины угла поля зрения лазерного дальномера ЛДИ-11 и условий обеспечения физиологического подобия модели визуальной обстановки.

Поле зрения коллимационной системы изделия СК-2 «Блистер» составляет $42^\circ \times 37^\circ$. Нетрудно показать, что для обеспечения физиологического подобия модели визуальной обстановки в угле обзора иллюминатора 42° формируемое и воспроизводимое изображение объектов визуальной обстановки должно иметь разрешение не хуже $R_{\text{мон}} = R_{\text{фи}} \cong 1700$ пикселей при наблюдении изображения невооруженным глазом (разрешающая способность глаза $R_{\text{гл}} \cong 1,5$ угл. минут).

Наблюдение этого изображения с помощью оптической системы прибора ЛДИ-11Т с углом поля зрения $A_{\text{лди}} = 5^\circ$ эквивалентно наблюдению с помощью зрительной трубы с оптическим увеличением $\Gamma_x = 8$. Обеспечение физиологического подобия и, соответственно, незаметности пиксельной структуры изображения в окуляре прибора в данном случае потребует формирования и воспроизведения изображения с максимальным разрешением не хуже $R_{\text{мон}} = R_{\text{фи}} \cong 13\,600$ пикселей. Реализация рассмотренного способа представления визуальной информации в поле зрения окуляра прибора ЛДИ-11Т сопряжена со значительными техническими трудностями.

Анализ вариантов решения задачи воспроизведения изображений визуальной обстановки в имитаторе лазерного дальномера показал, что более предпочтительным вариантом является использование микродисплея.

Микродисплеями принято называть микроминиатюрные устройства отображения визуальной информации размером до $4,5$ см с разрешением до нескольких миллионов элементов отображения (пикселей) [1, 4].

Использование микродисплея в качестве устройства воспроизведения изображений в поле зрения окуляра прибора ЛДИ-11Т позволяет решить важную техническую задачу – устранить заметность для глаза видимую в окуляр прибора пиксельную структуру изображения объекта наблюдения и повысить адекватность модели визуальной обстановки реальным условиям выполнения полетных операций.

Однако для решения этой задачи требуется наличие в составе СИВО тренажера, как указывалось выше, формирователя изображений для прибора ЛДИ-11Т. Это усложнение является своего рода «ценой» устранения заметности пиксельной структуры изображения, которая имеет место при одноканальном варианте формирования визуальной обстановки, когда изображение наблюдается на экране внешнего монитора с использованием штатной оптической системы ЛДИ-11.

С учетом вышеизложенного вернемся к дальнейшему рассмотрению функциональной схемы, представленной на рисунке. Как следует из этой схемы, СИВО блистера бытового отсека тренажера «Дон-Союз» реализуется на аппаратно-программной платформе, в состав которой входит интегрированная совокупность следующих средств:

- модернизированная СКГИ;
- модернизированный имитатор лазерного дальномера ЛДИ-11 (прибор ЛДИ-11Т);

- подсистема отображения визуальной информации в блистере бытового отсека для наблюдения коллимированного изображения визуальной обстановки невооруженным глазом;
- подсистема инфракрасного трекинга для определения положения визирной оси прибора ЛДИ-11Т;
- специальное программное обеспечение.

Формирователь изображений (ФИ) прибора ЛДИ-11Т, входящий в состав СКГИ, обеспечивает формирование цветного изображения трехмерных динамических сюжетов внешней визуальной обстановки, наблюдаемых в поле зрения лазерного дальномера. С выхода коммутатора сигналов сигналы изображения визуальной обстановки поступают на микродисплей прибора ЛДИ-11Т и наблюдаются в окуляре прибора. Информационное содержание формируемого изображения при этом зависит от размера поля зрения, кратности увеличения и углового положения визирной оси имитатора прибора, которое определяется подсистемой инфракрасного трекинга.

Прибор ЛДИ-11Т представляет собой макет реального бортового лазерного дальномера ЛДИ-11, содержащий: окуляр, микродисплей, ИК-источник (оптическая мишень) системы ИК-трекинга и объектив.

Подсистема отображения визуальной информации в блистере бытового отсека включает в себя монитор «Блистер-фон», объектив, сферическое зеркало и светоделитель.

Система позиционирования, представленная на рисунке, содержит инфракрасную трекинговую камеру и контроллер-вычислитель угловых координат визирной оси прибора ЛДИ-11Т. Как уже отмечалось, в фокальной плоскости объектива имитатора дальномера на оптической оси расположен источник ИК-излучения, роль которого могут выполнять лазерные ИК-светодиоды. Напротив светоделительной пластины коллимационной системы изделия СК-2 «Блистер» по оптической оси системы установлена инфракрасная трекинговая камера. ИК-камера фиксирует положение изображения ИК-источника в пространстве по его образу на светоделителе, что позволяет ей определять положение визирной оси прибора ЛДИ-11Т в пространстве по углам тангажа и курса. Поле зрения объектива ИК-камеры при этом должно обеспечивать наблюдение всей площади светоделительной пластины.

Сигналы положения точки визирования прибора ЛДИ-11Т декодируются и с выхода ИК-камеры поступают в контроллер, который выполняет роль процессора (вычислителя) угловых координат визирной оси прибора ЛДИ-11Т. Управляющие сигналы с выхода этого программно-аппаратного средства по шине Ethernet поступают в управляющую ЭВМ СКГИ, которая формирует соответствующие команды управления визуальной моделью ФИ прибора ЛДИ-11Т.

С помощью доработанного программного обеспечения управляющей ЭВМ производится сравнение полученных координат визирной оси при-

бора ЛДИ-11Т с экранными координатами изображения объекта стыковки и фона, формируемого ФИ «Блистер-фон» для канала блистера бытового отсека. В случае их соответствия выдается разрешение на индикацию значения дальности в левом окуляре ЛДИ-11 при выполнении космонавтом операции измерения дальности до выбранной точки наведения.

Для визуализации в реальном времени процесса наведения визирной оси прибора ЛДИ-11Т в поле зрения блистера бытового отсека должны быть доработаны цифровая визуальная модель ФИ канала «ЛДИ-11» в части формирования маркера (перекрестия визирной оси прибора ЛДИ-11Т) и программа управления СКГИ. При этом должна быть обеспечена возможность включения и отключения этого маркера инструктором с пульта контроля и управления тренажера.

Из функциональной схемы рисунка следует, что рассмотренные технические решения упрощают реализацию задачи оперативного визуального контроля за действиями космонавта-оператора при выполнении операции ручного управления сближением и причаливанием объектов стыковки. Для этой цели предусматривается подача видеосигналов ФИ с выхода коммутатора сигналов на средства отображения информации пульта контроля и управления тренажера «Дон-Союз».

Выводы

1. Наиболее перспективным техническим решением при разработке имитатора лазерного дальномера ЛДИ-11 (прибора ЛДИ-11Т) является применение микродисплея в качестве устройства воспроизведения изображения, а также системы позиционирования на основе технологии оптического инфракрасного трекинга. Такая реализация имитатора позволяет обеспечить высокий уровень адекватности сенсомоторной деятельности оператора при отработке навыков работы с лазерным дальномером.

2. Использование подсистемы инфракрасного трекинга обеспечивает техническую возможность отработки на тренажере важных практических навыков прицеливания прибора ЛДИ-11Т при определении дальности до объекта сближения.

3. Использование микродисплея в составе прибора ЛДИ-11Т обеспечивает техническую возможность повышения качества изображения, наблюдаемого в правом окуляре лазерного дальномера ЛДИ-11.

4. Использование двух ФИ и коммутатора сигналов обеспечивает техническую возможность одновременного формирования и согласованного отображения изображения МКС как в иллюминаторе «Блистер» для его наблюдения невооруженным глазом оператора, так и в окуляре прибора ЛДИ-11Т, а также на УВИ пульта контроля и управления тренажера для обеспечения контроля действий космонавта инструктором.

5. На основе выполненных исследований разработан вариант функциональной схемы модернизированной СИВО в блистере бытового отсека тре-

нажера сближения, причаливания и стыковки «Дон-Союз», базирующийся на использовании современных технологий виртуальной реальности.

б. Реализация предложенных технических решений позволит обеспечить устранение недостатков и ограничений, имеющихся на тренажере, а также расширить его функциональные возможности и повысить адекватность моделирования визуальных условий операторской деятельности экипажей транспортных кораблей «Союз-МС» при выполнении полетных операций на этапе сближении с МКС.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Микродисплей от компании eMagin [Электронный ресурс]. – <http://activesupply.ru/catalog/mikrodisplei>.
- [2] Сайфуллин Д. Обзор методов и технологий отслеживания положения для виртуальной реальности [Электронный ресурс]. – <https://geektimes.ru/post/280620/>.
- [3] Системы оптического инфракрасного трекинга компании A.R.T. [Электронный ресурс]. – www.ve-group.ru.
- [4] Усов Н. Микродисплеи на основе органических светодиодов МДО 01. Современная электроника. – 2016. – № 1. – С. 34–37.

REFERENCES

- [1] EMagin microdisplay [non-legible form]. – <http://activesupply.ru/catalog/mikrodisplei>.
- [2] Saifullin D. Overview of VR position tracking techniques [non-legible form]. – <https://geektimes.ru/post/280620/>.
- [3] A.R.T. optical infrared tracking systems [non-legible form]. – www.ve-group.ru.
- [4] Usov N. Micro displays based on “МДО 01” organic LEDs. *Sovremennaya Elektronika* [Modern Electronics]. – 2016. – No 1. – pp. 34–37.