

УДК 629.7

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЁТАМИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

О.А. Игнатова, Н.В. Зыков

*Центр управления полётами,  
Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (ЦУП ЦНИИмаши)  
141074 г. Королёв, Московская обл., ул. Пионерская, 4*

*Аннотация.* Первоочередной задачей представления информации на средствах отображения ЦУП является оперативное обеспечение специалистов по управлению КА полноценным набором достоверных полётных данных, т.н. релевантной информацией, о проводимой динамической операции, достаточным для решения задач управления. Это позволяет более объективно проводить оперативную оценку ситуаций с целью прогнозирования их развития. Эффективность восприятия информации специалистом зависит от состава и формы представления данных. Связь эффективности восприятия и формы представления данных проявляется в когнитивной нагрузке на специалиста, т.е. в усилиях, затраченных человеком на интерпретацию данных. Обеспечение эффективного восприятия информации возможно с внедрением технологий виртуальной реальности и управляемого представления информации, которые позволяют объединить телеметрию, баллистические расчёты и данные о геометрической форме КА в единое наглядное представление, задействующее естественные механизмы зрительного восприятия и оценки пространственных соотношений, и обеспечить своевременное предоставление информации специалистам.

*Ключевые слова:* операционное понимание ситуации, ситуационная осведомлённость, 3D-визуализация, виртуальная среда, адаптивное управление

Первоочередной задачей представления информации на средствах отображения ЦУП является оперативное обеспечение специалистов по управлению космическими аппаратами (КА) полноценным набором достоверных полётных данных, т.н. релевантной информацией, о проводимой динамической операции, достаточным для решения задач управления. Это позволяет более объективно проводить оперативную оценку ситуаций с целью прогнозирования их развития, т.е. для поддержания операционного понимания ситуации (Situational Awareness). Согласно работам д-ра М. Эндсли [1], различают 3 уровня умозрительной деятельности специалистов для формирования осведомлённости – восприятие, понимание и прогнозирование. Уровень 1 – восприятие текущей информации или критических факторов окружающей обстановки, важных для принятия решений. Уровень 2 – понимание значения совокупности этих факторов применительно к текущим целям. Уровень 3 – способность предсказывать состояние системы в ближайшем будущем.

Совершенствование операционного понимания ситуации является значимым фактором в процессе принятия решений при обеспечении задач управления полётом КА.

Эффективность восприятия информации специалистом зависит от состава и формы представления данных. Связь эффективности восприятия и формы представления данных проявляется в когнитивной нагрузке на специалиста, т.е. в усилиях, затраченных человеком на интерпретацию данных. Одной из основных функций любой системы отображения является снижение нагрузки на специалиста (оператора) при достижении им первых двух уровней осознания ситуации. Можно сказать, что вся история и перспективы развития методов и технологий отображения связаны как раз с поиском подходов к снижению когнитивной нагрузки на специалиста при достижении этих уровней и к обеспечению достижимости третьего уровня [2]. В последнее время предметом исследований становится зависимость процессов прогнозирования специалистом развития ситуации от образных (2D и 3D) форм представления информации.

В последнее время на процесс управления полётом МКС (Международной космической станции) всё большее влияние оказывают такие факторы, как рост пространственной сложности самой станции, увеличение количества производимых динамических операций, связанных с ростом количества транспортных кораблей, и сложности этих операций, в которых нередко участвуют несколько КА одновременно.

Требования к информационному обеспечению специалистов по управлению КА возрастают из-за усложнения самого процесса управления. Возникает потребность в качественно ином представлении полётных данных. Использовать укоренившееся в задачах управления представление КА в виде материальной точки или координатного фрейма сегодня уже недостаточно, так как это во многих случаях не позволяет адекватно анализировать ситуации и принимать верные решения.

Удовлетворение этих возросших требований возможно с внедрением технологий виртуальной реальности и управляемого представления информации, которые в настоящее время интегрированы в информационно-вычислительный комплекс моделирования и информационного обеспечения полётов Центра управления полётами (ИВК МИОП ЦУП).

Ранее в системе отображения ЦУП полётные данные представлялись специалистам в знаковой форме в виде разрозненных наборов и статических диапозитивных чертежей. Это затрудняло оперативную интерпретацию данных. Представление полётных данных с помощью 3D-визуализации позволяет объединить телеметрию, баллистические расчёты и данные о геометрической форме КА в единое наглядное представление, задействующее естественные механизмы зрительного восприятия и оценки пространственных соотношений.

Для достижения этой цели создаётся индуцированная виртуальная среда [3], состояние объектов в которой определяется состоянием их реальных аналогов. В состав этих объектов входят как сами КА, информацию о состоянии которых МИОП получает из телеметрического комплекса ЦУП, так и небесные тела, состояние которых определяется априорными данными (каталоги, таблицы эфемерид и т.п.).

Преимущество представления информации в виртуальной среде заключается не только в образности как таковой, но и в незамедлительной (без видимой задержки) реакции на изменение состояния объектов и условий наблюдения, что позволяет специалистам оперативно оценивать текущую ситуацию с КА. Для обеспечения этого требуется гарантированно малое время синтеза кадра: исследования, связанные с инерцией зрения показали, что для создания ощущения плавности движения требуется сменять 16-18 кадров в секунду. Добиться необходимой скорости создания кадров можно с

применением специализированных аппаратных средств: графических процессоров. Следовательно, алгоритмы оперативной визуализации должны строиться на основе реализованных в графических процессорах методах синтеза кадра: растеризации и удаления невидимых поверхностей при помощи буфера глубины.

В информационном представлении внешнего вида КА при решении задач управления полётом первостепенное значение имеет прямое солнечное освещение и вызванные его перекрытием тени на поверхности КА, которые не только несут дополнительную информацию о форме и взаимном расположении объектов, но и позволяют оценить температурный баланс и режим работы солнечных батарей [4].

Ввиду изначальной неприспособленности алгоритмов, основанных на растеризации, к моделированию тени, требуется разрабатывать специальное программно-математическое обеспечение с усовершенствованиями в алгоритме визуализации, позволяющими максимально корректно воспроизводить светотеневую обстановку [4]. Для выбора наилучшего метода воспроизведения светотеневой обстановки при визуализации КА, необходимо учитывать особенности, характерные для отображения космических аппаратов, таких как, например, сложная геометрическая форма и компоновка и др.

Существует 4 основных метода, при помощи которых можно моделировать светотеневую обстановку: метод трассировки, метод проецирования геометрии, метод теневых объёмов и метод теневых карт. В ИВК МИОП используется метод теневых карт, т.к. он является наиболее оптимальным для моделирования светотеневой обстановки при визуализации КА, хотя у метода есть недостатки, связанные с дискретностью карты глубин, что может привести к заметным дефектам изображения

Метод теневых карт основан на прямом определении препятствий между текущим фрагментом изображения и источником света при помощи предварительно построенной карты глубин изображаемой геометрической модели, наблюдаемой из положения источника света. Для каждого фрагмента вычисляется расстояние до источника света, которое сравнивается с глубиной соответствующей точки в карте теней. Совпадение этих расстояний означает, что фрагмент освещён, различие – что на пути света есть какое-то препятствие. Данный метод обладает существенными преимуществами:

- не имеет прямой зависимости от сложности геометрической модели;
- воспроизводит правильную по форме тень;
- требуемые для его работы операции поддерживаются графической аппаратурой, что существенно повышает производительность.

3D-визуализация в виртуальной среде, учитывающая описанные выше особенности информационного обеспечения процесса управления полётом КА, позволяет специалистам детально представить взаимное положение модулей КА и МКС, подвижных элементов конструкции (солнечных панелей, радиаторов, манипуляторов и т.п.). Наглядное представление пространственно-габаритных соотношений делает возможным выявление потенциально опасных ситуаций (например, перекрытие (затемнение) элементами конструкции излучений важных сигналов), которые практически невозможно определить, используя только алфавитно-цифровые данные (рис.1).

Для эффективного процесса управления полётом КА необходимо последовательное предоставление специалистам релевантных полётных данных. Ранее для информационного обеспечения специалистов информацией в зале управления требовалось при-

влечение к этому процессу значительного количества специалистов по отображению, работающих в режиме «ручного управления». Для обеспечения одного зала могло быть задействовано до 20 человек. Помимо невозможности работы с удалёнными пользователями в таком режиме, влияние человеческого фактора на процесс отображения оказывалось наибольшим, что негативно сказывалось на частоте появления ошибок при выдаче сюжетов.

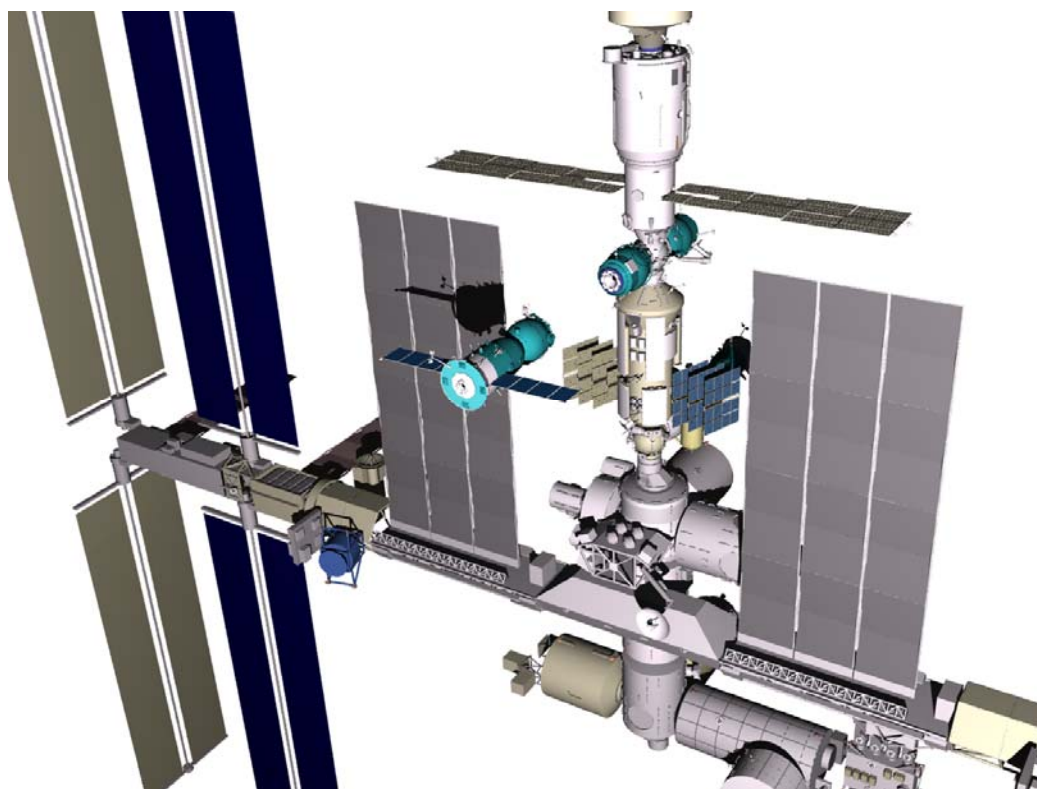


Рис. 1. 3D-визуализация фрагмента МКС

В настоящее время количество специалистов, использующих в своей работе сюжеты МИОП достаточно велико и обеспечить для них своевременное и адекватное отображение процесса полётной операции прежними методами – невозможно. Решить эту задачу можно при помощи технологии адаптивного управления отображением.

Адаптивное управление – это управление в системе с неполной априорной информацией об управляемом процессе, когда последовательность действий изменяется по мере получения информации. Оно применяется с целью улучшения качества работы системы. Основное свойство адаптивных систем - реализация цели управления в условиях недетерминированной внешней среды и изменяющихся параметров объекта управления [5].

В случае информационного обеспечения полётов КА, суть технологии адаптивного управления отображением заключается в обработке и анализе поступающих полётных данных, на основе чего осуществляется выбор формы представления и состава отобра-

жаемой информации с учётом текущей ситуации, что обеспечивает последовательное и достоверное представление полётных данных специалистам. Адаптивное управление отображением позволяет автоматизировать процесс информационного обеспечения полётных операций, учесть и сократить влияние на этот процесс «человеческого фактора» и добиться степени релевантности, трудно достижимой с помощью других технологий обеспечения отображения.

Значительный объём полётных данных делает невозможным их общее представление в фиксированной форме (невозможно вывести на экраны сразу все данные). Поэтому единственной альтернативой адаптивному управлению остаётся «ручной» режим управления отображением. В рамках работ по информационному обеспечению полётом МКС в комплексе МИОП разработана технология автоматизированных сценариев отображения, которая представляет собой реализацию принципа адаптивного управления отображением.

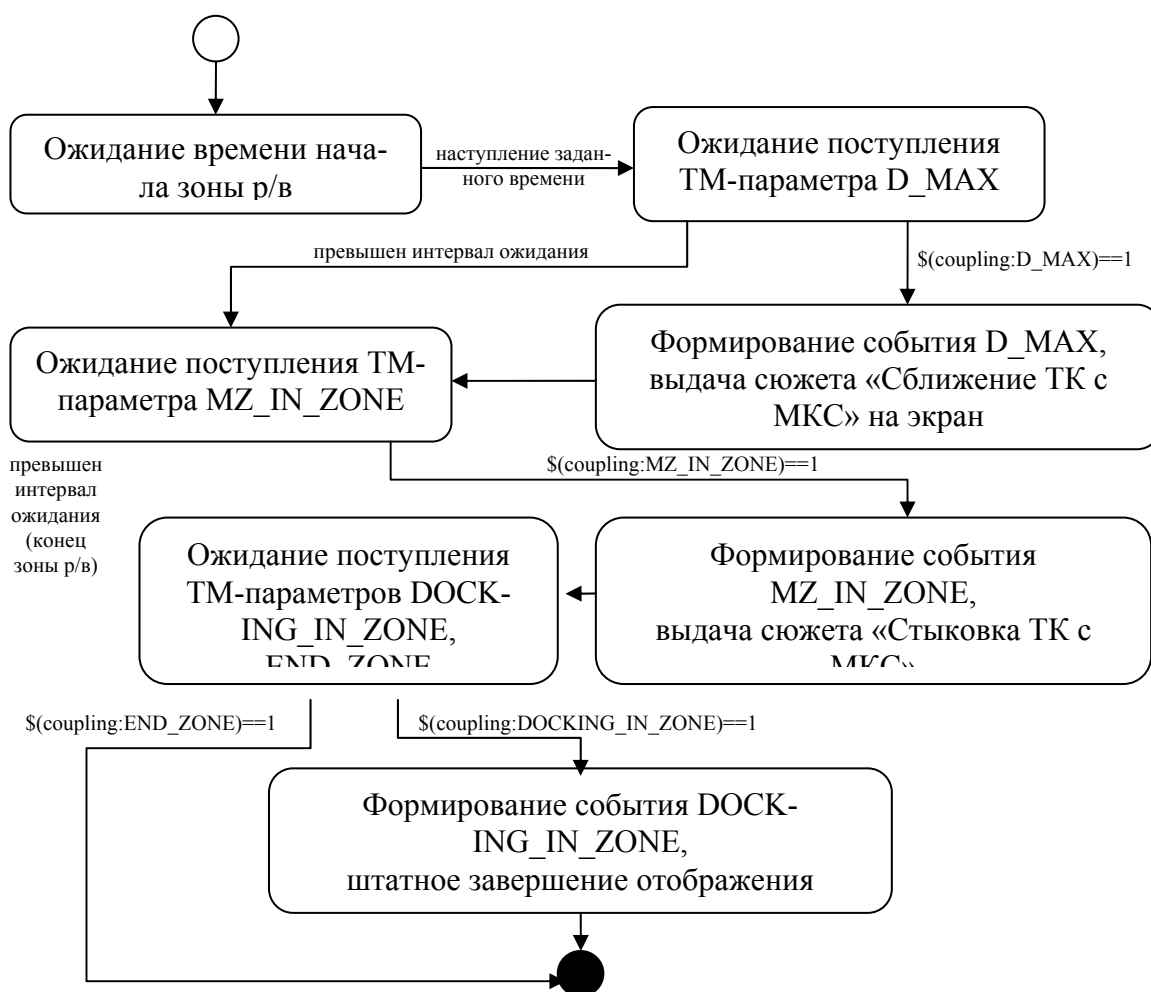
Автоматизированный сценарий отображения информации основывается на описании последовательности сюжетов, организованной в направленный граф в соответствии с циклограммой проводимой динамической полётной операции (выведение КА на орбиту, стыковка транспортных кораблей (ТК) с МКС, расстыковка ТК с МКС, процесс спуска ТК с орбиты и посадка).

Переключение сюжетов осуществляется автоматически в зависимости от результатов анализа текущей ситуации, определяемой поступающими с борта телеметрическими данными. Для обеспечения многовариантности исполнения сценария была разработана программа формирования событий по телеметрической информации (ТМИ).

Программа формирует события по данным ТМИ сразу по нескольким бортам (т.е. телеметрическая информация принимается и обрабатывается с борта служебного модуля (СМ) МКС в нескольких режимах и через американские средства связи (ТМХ)), что гарантирует формирование событий (поступление ожидаемых телеметрических параметров) вне зоны радиовидимости российских наземных измерительных пунктов (НИП). Сеансы ТМИ поступают в группу МИОП из телеметрического комплекса ЦУП (ТМИВК).

Далее представлена диаграмма конечного автомата, описывающего работу автоматизированного сценария при информационном обеспечении стыковки ТК с МКС в зоне видимости российских НИПов.

В данном случае программа формирования событий учитывает время начала и конца зоны радиовидимости, анализирует телеметрическую информацию о дальности объектов при сближении, при поступлении информации о дальности менее 65 метров (D\_MAX) формируется событие «Стыковка в зоне», по которому на экраны выдаётся сюжет о сближении ТК с МКС. При наступлении события «Мехзахват» (MZ\_IN\_ZONE) стартует условный сюжет «Стыковка ТК с МКС», условием завершения которого могут послужить сразу три события – DOCKING\_IN\_ZONE «стыковка завершена» (процесс отображения прошёл штатно), «конец сеанса ТМИ» (ТМИ перестала поступать раньше, чем завершился процесс стягивания ТК с МКС) и END\_ZONE – конец зоны видимости (зона р/в закончилась до завершения процесса стягивания). Если установленные события не наступают, т.е. в программный комплекс не поступают соответствующие телеметрические параметры, выбор сюжетов, корректное отображение которых невозможно в текущих условиях, блокируется в ходе выполнения сценария.



Успешная практика применения описанных технологий при информационном обеспечении управления полётом РС МКС позволяет достичь высокой релевантности отображаемой информации на коллективных средствах отображения (КСО) ЦУП и на персональных компьютерах специалистов различных служб ЦУП, решить проблему неконтролируемой или некорректной выдачи информации удалённым пользователям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Endsley, M.R. and Garland D.J (Eds.) "Theoretical Underpinnings of Situational Awareness: a critical review", Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2002.
2. Endsley, M.R. "Toward a theory of Situational Awareness. Human Factors", p. 32-64, 1995.
3. Афанасьев В.О., Байгозин Д.А., Батулин Ю.М., Даниличева П.П., Долговесов Б.С. и др. «Системы визуализации и виртуального окружения в задачах исследования космоса: настоящее и будущее», - «Космонавтика 21 век. Попытка прогноза раз-

- вития до 2101 года» под редакцией Б.Е. Чертока, часть 2. Москва, «РТСофт» 2010 год
4. *Зыков Н.В.* «Фактор покрытия как показатель качества тени при интерактивной визуализации трёхмерных сцен», «Космонавтика и ракетостроение», 2011. т. 65. № 4. с. 150-158, ЦНИИмаш.
  5. *Карпов Л.Е., Юдин В.Н.* «Адаптивное управление по прецедентам, основанное на классификации состояний управляемых объектов», Институт системного программирования РАН, 2007 год.

**ADVANCED TECHNOLOGIES OF VISUALIZATION  
AND DATA PRESENTING FOR INFORMATION PROVISION  
OF SPACECRAFTS MISSIONS CONTROL**

**O. Ignatova, N. Zykov**

*Mission Control Centre, TSNIIMASH (Central R&D Institute of Machine Building)  
4, Pionerskaya str., Korolev, Moscow Region, 141074, Russia*

*Abstract.* The primary objective of providing information on the means of displaying the MCC is the operative provision of management professionals a full range of reliable spacecraft flight data. This allows a more objective to conduct a rapid assessment of situations in order to predict their development. The efficiency of information perception specialist depends on the composition and presentation of data. Communication effectiveness of the perception and presentation of the data is shown in the cognitive load on the specialist. Effective perception of information is possible with the introduction of virtual reality technology and adaptive control. Its can combine telemetry, ballistic calculations and data on the geometry of the satellites in a single visual representation and provide timely information to professionals.

*Keywords:* Situational Awareness, 3D visualization, Virtual environment, Adaptive control