

## Функционально-моделирующие стенды в задачах исследования операций и подготовки операторов космических манипуляционных роботов

Алексей Григорьевич Лесков – д.т.н., профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, директор Дмитровского филиала МГТУ, дом. адрес 141800 г.Дмитров, Московская обл., мкр. ДЗФС д18, кв41, тел 903 111 41 60, agleskov@rambler.ru.

Рассмотрены вопросы создания и применения функционально-моделирующих стендов в задачах исследования операций и подготовки космонавтов к управлению космическими манипуляционными роботами.

Космические манипуляционные роботы, функционально-моделирующий стенд, подготовка операторов.

## Hybrid Simulating Testbeds application in research and training space robots operators Leskov A.G.

The paper surveys the problems of creation of Hybrid (i.e. hardware-in-the-loop) Simulating Testbeds (HST) and their application in robotic operations research and training space robots operators.

Space robots, Hybrid Simulating Testbed, operators training

Применение космических манипуляторов (космических манипуляционных роботов – КМР) позволяет реализовать новые технологии на борту и вне космического аппарата (КА), сократить затраты на ремонт и обслуживание КА, повысить эффективность и безопасность работ в открытом космосе.

Высокая стоимость КМР и риски, связанные с эксплуатацией КМР, требуют тщательной предполетной верификации всех заданий на Земле. Эти же обстоятельства обуславливают необходимость качественной подготовки экипажей к управлению КМР. Функционально-моделирующие стенды (ФМС) КМР – эффективные средства решения этих задач.

Вопросы создания ФМС, проведения на их основе исследований и подготовки российских экипажей рассматривались в ряде работ, выполненных совместно МГТУ им. Н.Э.Баумана и ФГБУ НИИ ЦПК им. Ю.А.Гагарина [1,2,3,4 и др.].

Первый ФМС КМР (рисунок 1) был создан в 1993 году [7] и предназначался для подготовки космонавтов к управлению КМР МКК «Буран». Основу ФМС составляла аналого-цифровая модель КМР (комплекс АВК32 - IBM PC). В качестве макета КМР применялся промышленный робот (ПР) РМ-01. В составе ФМС – макеты пультов внутреннего человеко-машинного интерфейса с встроенными панелями индикации и управления, мониторами телекамер.

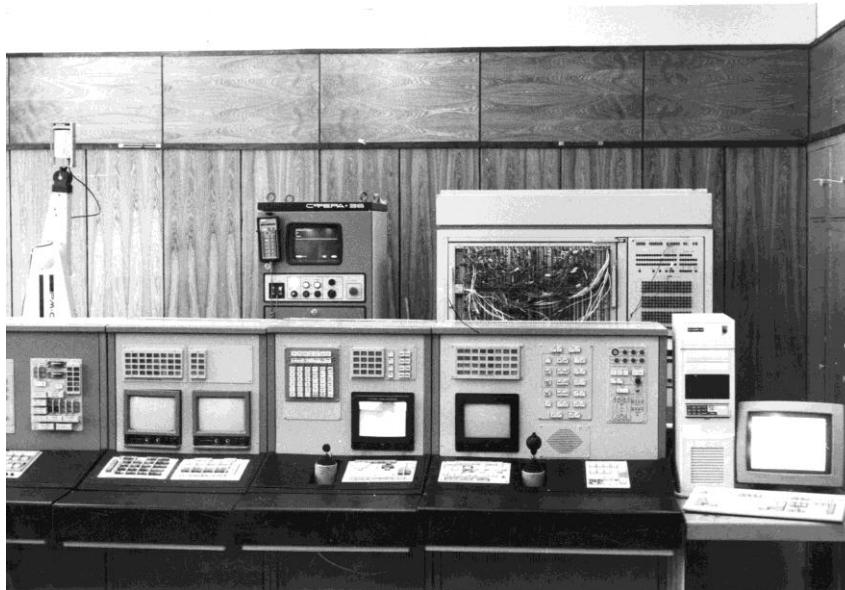


Рисунок 1 – ФМС манипулятора МКК «Буран»

ФМС КМР постоянно модернизировался [5,6]. Модернизация ФМС была направлена на решение следующих основных задач:

- совершенствование математических моделей кинематики, динамики, систем управления движением и действиями КМР;
- создание программно-математического обеспечения регистрации, обработки и хранения данных;
- создание программно-методического обеспечения задач общекосмической подготовки в части управления КМР МКС;
- разработка методов и систем оценки управляющей деятельности операторов;
- модернизация физических макетов КМР, оснащение средствами технического зрения и силомоментного оцувствления.

В результате ФМС реализован в трех вариантах исполнения:

- в виде двухмашинной компьютерной системы; в этом варианте все компоненты модели КМР представлены в виртуальной форме;
- в упрощенном виде на базе одного Laptop;
- в виде полунатурной модели, включающей вычислительный комплекс из трех IBM PC, связанных по сети, а также физических макетов КМР (промышленные роботы), задающих устройств, систем технического зрения и средств силомоментного оцувствления.

Современный ФМС [6, 8, 9] представляет собой многофункциональный комплекс аппаратно-программных средств. В качестве робота-макета КМР используется шестистепенной ПР Kawasaki FS20N. Структура ФМС представлена на рисунке 2, на рисунке 3 – фотография ФМС.

Программные средства ФМС инвариантны по отношению к структуре и параметрам моделируемого КМР и имеют средства для оперативного ввода данных о звеньях, приводах, режимах управления и миссий КМР. ФМС настроен на параметры КМР ERA [10] МКС.

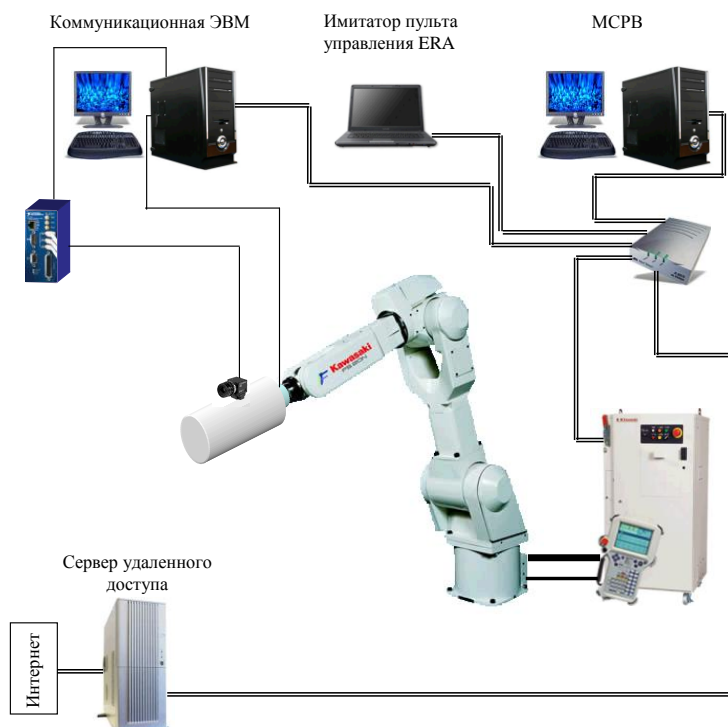


Рисунок 2 – Структура ФМС

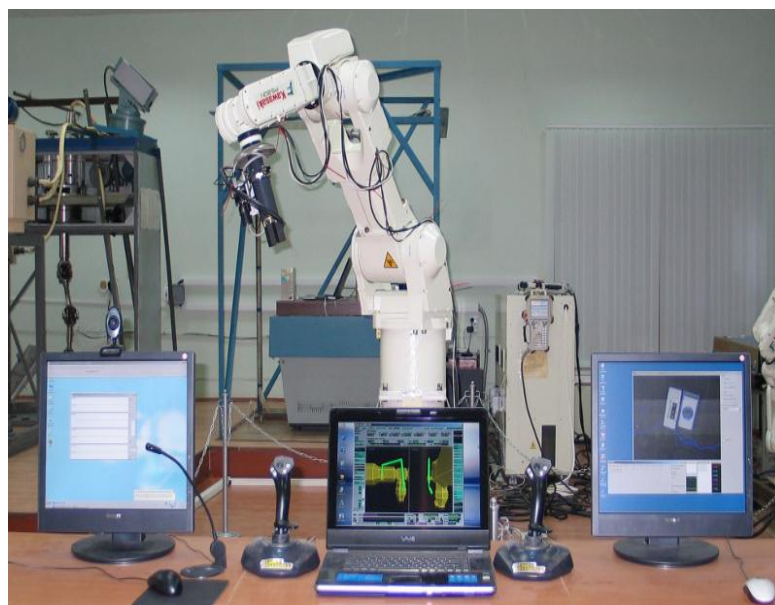


Рисунок 3 – Мониторы ЭВМ и манипулятор ПР ФМС

## 1 Структура ФМС

ФМС имеет модульную структуру и состоит из следующих частей:

1) моделирующая система реального времени (МСПВ) – программный комплекс моделирования кинематики, динамики, систем управления движением и действиями КМР; МСПВ установлена на отдельном компьютере;

2) имитатор пульта управления ERA, установленный на портативном компьютере;

3) ЭВМ для управления оборудованием;

4) промышленный робот (ПР) и его управляющий компьютер;

5) сервер удаленного доступа, установленный на отдельном компьютере.

Рабочий орган - захватное устройство и средства осязания (система технического зрения - СТЗ, силомоментный датчик - СМД).

Организация сетевого взаимодействия распределенного ПО ФМС осуществляется посредством транспортного протокола TCP и сетевого протокола IP.

Основным программным модулем стенда является МСПВ на базе отдельной IBM PC. Аппаратные модули при необходимости могут исключаться или заменяться. В [11] представлены основные алгоритмы и программное обеспечение отдельных модулей ФМС.

## 2 Промышленный робот

ПР в составе полунатурного стенда предназначен для точного воспроизведения динамики механического контакта КМР с объектами и внешней среды и перемещения полезных грузов и аппаратных средств систем осязания. В качестве ПР в ФМС применяется манипулятор Kawasaki FS 020N. Рабочий орган (РО) ПР оснащен комплектом специального оборудования (рисунок 4):

- камера СТЗ,
- СМД системы измерения сил и моментов,
- захватное устройство.

Силомоментный датчик SCHUNK FTD-DELTA, установленный на ПР, измеряет реальные силы контакта, при этом используются габаритные физические макеты реальных ПГ, с которыми будет работать КМР на борту. Измеренные силы вводятся в компьютерную модель КМР.

Для обеспечения функционирования оборудования РО в составе ФМС разработано специальное программное обеспечение (ПО) для управления компонентами РО, их взаимодействием и получением информации пользователями.

## 3 Дистанционное управление в ФМС

В составе ФМС – сервер удаленного доступа, благодаря которому предоставляется возможность удаленного доступа к процессам управления и моделирования КМР по сети Интернет [11].

В согласованное время удаленный пользователь подключается через сеть Интернет к программному обеспечению Web-сервера лаборатории,

осуществляющего авторизацию пользователя и последовательную трансляцию серверу МСРВ ФМС команд управления в составе сформированной пользователем миссии (задания). Сервер МСРВ обрабатывает на математической модели и реальном роботе заданные пользователем команды и возвращает параметры состояния с частотой около 3-х раз в секунду. Полученные Web-сервером данные транслируются в клиентский пользовательский интерфейс через сеть Интернет. После завершения обработки текущей команды программное обеспечение осуществляет (в зависимости от состояния МСРВ) либо запуск следующей в миссии команды, либо завершение сеанса удаленного управления.



Рисунок 4 – Рабочий орган ПР в составе ФМС: видеокamera СТЗ, СМД, захватное устройство

Параметры состояния математической модели робота непрерывно передаются от МСРВ к управляющему компьютеру робота, ПО которого обеспечивает перемещение ПР с полученными от модели координатами и скоростями перемещения звеньев робота.

#### 4. Математическое обеспечение ФМС

КМР представляется в виде системы, включающей:

- n-звенный исполнительный механизм (ИМ), звенья которого – упругие тела;
- комплекс из n следящих приводов сочленений;
- систему управления движением;
- систему управления действиями (миссии КМР);
- систему безопасности.

#### 4.1 Модель исполнительного механизма

Основу модели динамики ИМ составляют уравнения в форме блочных матриц [12].

Эти уравнения имеют вид

$$Aq'' + b = \mu_0 + c^T M_e + D^T F_e,$$

где

$q$  –  $n$ -мерный вектор координат сочленений ИМ,

$b$  –  $n$ -мерный вектор центробежных и кориолисовы сил,

$M_e$  –  $3n$ -мерный блочный вектор внешних моментов, действующих на звенья,

$F_e$  –  $3n$ -мерный блочный вектор внешних приложенных к звеньям внешних сил,

$c$ ,  $D$  –  $3nx3n$ -мерные блочные матрицы, связывающие блочные векторы угловых и линейных скоростей звеньев в декартовом пространстве и вектор производных координат сочленений,

$A$  –  $n \times n$  – матрица инерционных коэффициентов,

$$A = c^T J c + D^T M D,$$

$J$  –  $3nx3n$  – блочная матрица, составленная из тензоров инерции звеньев,

$M$  –  $3nx3n$  – блочная матрица, составленная из масс звеньев.

При моделировании уравнения ИМ представляются в рекуррентной форме – в виде так называемых «прямых» и «обратных» соотношений [13] и в виде «косых суммы» (алгоритм «косынка») [14]. Учитываются деформации упругих звеньев.

#### 4.2 Следящие приводы

В ФМС принято укрупненное описание исследуемого приводов в виде функциональных блоков. При моделировании в памяти ЭВМ создается база данных, в которой представлены уравнения всех модулей в нормальной форме Коши. Отдельно указываются связи между входными и выходными координатами модулей. «Сборка» уравнений приводов из уравнений входящих в их состав модулей производится автоматически. Процедура сборки алгоритмически совмещена с процедурой численного интегрирования.

В общем виде этот метод был реализован в программных комплексах [18,19].

#### 4.3 Управление движением

Движение КМР происходит под управлением системы планирования траекторий в декартовом пространстве или в пространстве координат сочленений.

Планирования включает два этапа:

а) расчет точек вдоль отрезков прямых линий между точкой исходного положения и целевой точкой. Расчет точек производится с привязкой к реальному времени с частотой, соответствующей частоте квантования сигналов управляющей ЭВМ моделируемого КМР.

б) решение обратной кинематической задачи в каждой из запланированных точек.

Решение обратной кинематической задачи имеет особенности, связанные с учетом кинематической избыточности ИМ. Проблема избыточности преодолевается путем введения в рассмотрение дополнительных переменных, так называемы «индексов кинематической конфигурации».

В качестве декартовых систем координат рассматриваются системы, связанные в КМР («внутренние системы координат») и с внешними объектами («внешние системы координат»).

#### 4.4 Моделирование миссий

*Моделирование миссий* предусматривает подготовку и реализацию программ-автосеквенций, состоящих из элементарных фрагментов типовых манипуляционных операций.

В ФМС на этапе подготовки пользователь разрабатывает свою программу действий КМР и кодирует ее на специальном языке – Языке подготовки действий (ЯПД) [20].

Программа действий, написанная на ЯПД, подвергается трансляции во внутренний (рабочий) код.

Транслятор языка управления программами действий включает две части:

- Компилятор языка, проверяющий корректность лексики и синтаксиса программы и дающий на выходе легко интерпретируемый набор команд (внутреннее представление кода).

- Интерпретатор кода.

В основу ЯПД положены общие принципы управления КМР с помощью программ действий. Вызов действия является нижним уровнем детализации в ЯПД. Набор типовых действий ЯПД зависит от принципов управления КМР и учитывает применение для целей управления различных средств человеко-машинного интерфейса. ЯПД поддерживает ввод и вывод информации с(на) различные поля вывода информации применяемого пульта управления (световые клавиши и индикаторы, поля графической информации – при компьютерной имитации облика КМР и объектов внешней среды), учитывает возможное наличие ручных контроллеров, физических имитаторов КМР и др.

#### 4.5 Система безопасности

Составной частью современных КМР является подсистема избегания столкновений (Collision Avoidance, в дальнейшем – СА). СА – средство предотвращения столкновений КМР с окружающими предметами и пересечения звеньев друг с другом. При этом используются геометрические модели КМР, груза и объектов окружающей среды.

В ПО ФМС рассматриваются модели в виде трехмерных аппроксимаций действительных объектов. Модель КМР состоит из 4-5-ти соединенных звеньев. Геометрическая модель звена определяется как сферическое расширение сегмента, то есть, как объем, содержащий все точки, отстоящие от сегмента на расстояние, меньшее или равное выбранному радиусу R.

СА использует следующее правило проверки наличия столкновений: «Столкновение между объектами наличествует тогда и только тогда, когда

относительное расстояние между ними меньше некоторого заданного предельного значения».

## 5 Программное обеспечение

### 5.1 Моделирующая система реального времени

Основным модулем стенда является моделирующая система реального времени (МСПВ). Главными задачами МСПВ при работе ФМС являются: автоматическое формирование уравнений КМР, решение этих уравнений численными методами и обмен данными с другими программными частями ФМС.

В МСПВ применена многопоточная (параллельная) технология вычислений на однопроцессорных системах: один из потоков вычислительного процесса выполняет построение модели КМ («алгоритмическая» часть), другой выполняет интегрирование полученных уравнений. Третий поток (коммуникационный) осуществляет взаимодействие с внешними объектами, функционируя параллельно с интегрирующим и алгоритмическим потоками. Для корректной организации многопоточных вычислений ПО использует стандартные средства Borland Builder C++.

ПО МСПВ может быть представлена состоящей из следующих частей:

1. ПО модели динамики исполнительного механизма (ИМ).
2. ПО кинематики ИМ, внешних объектов и навесного оборудования.
3. ПО модели приводов.
4. ПО алгоритмов управления.
5. ПО поддержки интерфейса ввода исходных данных.
6. ПО интерфейса выбора закона и параметров управления движением КМР.
7. ПО поддержки интерфейса связи с внешними устройствами (имитатор пульта ИММІ ERA, промышленный робот, СТЗ, СМД).
8. ПО поддержки интерфейса предъявления оперативных данных.
9. ПО поддержки интерфейса выбора уровня сложности модели ИМ
10. ПО обеспечения связи с дистанционно удаленным пользователем.
11. ПО системы информационного обеспечения (СИО).

ПО МСПВ обладает следующими свойствами.

1. **ПО модели динамики ИМ МСПВ** обеспечивает автоматическое формирование и решение уравнений динамики многозвенных пространственных ИМ КМР. Звенья ИМ могут быть упругими.

2. МСПВ обеспечивает автоматическое **формирование и решение уравнений прямой кинематики**. Модель кинематики ИМ в МСПВ обеспечивает вычисление относительных векторов координат объектов, размещенных на звеньях ИМ или на неподвижном основании КМР. В качестве объектов рассматриваются телекамеры (например, телекамера на End Effector (ЕЕ), обзорная телекамера на основании), мишени и базовые точки. МСПВ обеспечивает также решение обратной кинематической задачи.

3. ПО МСПВ обеспечивает автоматическое **формирование структурной схемы и уравнений приводов шарниров** и получение решений по этим уравнениям в темпе реального времени. МСПВ имеет базу данных для элементов приводов (двигатели, редукторы и т.д.) и пользовательский интерфейс для их выбора и настройки параметров.



4. ПО МСРВ обеспечивает формирование и решение уравнений, описывающих различные **алгоритмы управления КМР**:

- движение КМР в свободном пространстве;
- движения КМР вблизи внешних объектов;
- выполнение контактных операций.

5. МСРВ имеет **пользовательский интерфейс**, позволяющий задать кинематические и массогабаритные параметры ИМ приводов:

- массогабариты исполнительного механизма,
- параметры упругих звеньев,
- параметры груза,
- параметры упругих деформаций,
- фиксация положений сочленений,
- структура и параметры приводов сочленений.

6. ПО интерфейса выбора **закона и параметров управления движением** КМР. Переключая закладки интерфейса, можно выбрать различные режимы управления (командный, ручной, тестовый, движения по траектории и др.) и задать их параметры (скорость, ускорение, направление движения и т.д.), а также установить командную систему координат и выбрать ее тип (внешняя, внутренняя).

7. Интерфейс **«Внешние устройства»** позволяет составить списки параметров модели для передачи/приема (через локальную сеть или порты) данных к подключенным устройствам (пульт управления, ручные контроллеры, промышленный робот, устройства регистрации, СМД, СТЗ и т.д.).

8. ПО поддержки интерфейса **предъявления оперативных данных**. Результаты интегрирования – временные процессы – могут быть выведены в виде графиков на экран в режиме on-line, либо записаны в файл для последующего предъявления и просмотра.

9. ПО обеспечения связи с **дистанционно удаленным пользователем**. Организация сетевого взаимодействия МСРВ с остальным ПО ФМС осуществляется посредством транспортного протокола ТСР и сетевого протокола IP. Сетевая связь между всеми программами компьютерной сети ФМС осуществляется посредством сокетных соединений типа клиент-сервер.

10. ПО системы **информационного обеспечения (СИО)**. Составной частью МСРВ является СИО – система информационного обеспечения. ПО СИО позволяет предъявить к рассмотрению зарегистрированные ранее временные процессы в моделируемом КМР.

11. ПО имитатор **пульта управления** – обеспечивает доступ к большинству элементов управления движением и действиями, доступными в реальном ИММ современных КМР. Для обеспечения большей наглядности графический облик пульт управления ФМС максимально приближен к облику ИММ моделируемого КМР. В настоящее время пульту управления КМР в ФМС придан облик ИММ ERA МКС.

12. ПО **системы безопасности**. Особенность ФМС – воспроизведение перемещений моделируемого КМР на физическом уровне. При этом не исключены столкновения ЗУМ промышленного робота с элементами собственной конструкции ПР, окружающими его предметами, операторами. В этой связи ФМС оснащен специальными программными средствами предотвращения столкновений ПР и КМР с препятствиями и самостолкновений отдельных звеньев моделируемого КМР.

ПО включает:

- программы расчета кратчайшего расстояния между различными геометрическими объектами;
- базу данных геометрических объектов, имитирующих препятствия внешней среды;
- программы расчета предельно возможных (с точки зрения исключения столкновений) расстояний между манипулятором и элементами внешней среды;
- программы моделирования логики функционирования СА;
- программы обеспечения отображения необходимой информации на имитаторе пульта управления.

Структурно программы системы безопасности в ФМС являются частью программного обеспечения имитатора пульта управления.

## 5.2 ПО рабочего органа промышленного робота

ПО РО реализовано в виде многопоточного приложения и предназначено для управления аппаратурой РО при выполнении операций движения в близкой зоне и контактных операций.

ПО РО решает следующие задачи:

- расчет координат камеры СТЗ относительно мишени;
- определение сил реакции, возникающих при воздействии на рабочий орган манипулятора;
- видеофиксация изображений при моделировании операций визуализации (например, осмотра внешней поверхности станции);
- формирование сигналов управления КМР при выполнении команд управления по данным от системы технического зрения (в КМР ERA – юстировка, приближение и отход);
- формирование сигналов управления КМР при управлении по данным от СМД (в КМР ERA – вставка, извлечение, расслабление).

По отношению к программам ПО ФМС, обеспечивающим человеко-машинный интерфейс между оператором и стендом, такими как пульты локального и глобального управления, ПО РО является сервером.

По отношению к МСРВ программный комплекс выполняет функции клиента. Для управления режимами движения, моделируемыми в МСРВ, ПО РО в качестве клиента подключается по адресу, который должен указать оператор стенда ФМС, к серверной части МСРВ, отвечающей за прием команд от программ управления движением.

ПО РО обладает графическим интерфейсом пользователя. Оператор стенда ФМС имеет возможность задать IP-адрес компьютера, на котором установлена МСРВ, и подключить ПО к МСРВ. Оператор может устанавливать необходимость приема команд от программ управления отдельными устройствами РО и имеет возможность контроля событий во время работы ПО.

Одновременно с подключением к серверной части МСРВ, ПО РО создает параллельный поток для контроля сетевых команд от управляющих клиентов (к серверу ПО РО может подключаться несколько клиентов). В случае успешного присоединения клиента ПО РО создает параллельный поток для работы с каждым клиентом. ПО РО управляется командами, поступающими от клиентов. Серверная часть программы возвращает результат выполнения полученной команды (положительный или отрицательный) клиенту.

## 6 Применение ФМС

### 6.1 Научные исследования

ФМС предоставляет возможности проведения исследований динамики и процессов управления МР с различной структурой и параметрами, при выполнении ими операций как в свободном пространстве, так и разнообразных контактных операций.

На базе ФМС выполнена разработка и исследование алгоритмов управления при перемещении КМР в свободной зоне, приближении и отходе (с использованием СТЗ [21]), контактные операции установки и снятия объектов.

На рисунках 5-7 приведены примеры записи процессов выполнения на ФМС операции, включающей фазы ручного управления перемещением КМР в свободном пространстве, и автоматических операций юстировки и приближения к базовой точке. Ручные операции выполняются по командам, подаваемым оператором с пульта ИММІ. Автоматические операции - с использованием информации телекамеры СТЗ рабочего органа.

На рисунке 5 – линейные и угловые координаты рабочего органа относительно базовой системы координат.

На рисунке 6 - линейные координаты рабочего органа относительно базовой системы координат и системы координат базовой точки.

На рисунке 7 – угловые координаты рабочего органа относительно базовой системы координат и системы координат базовой точки.

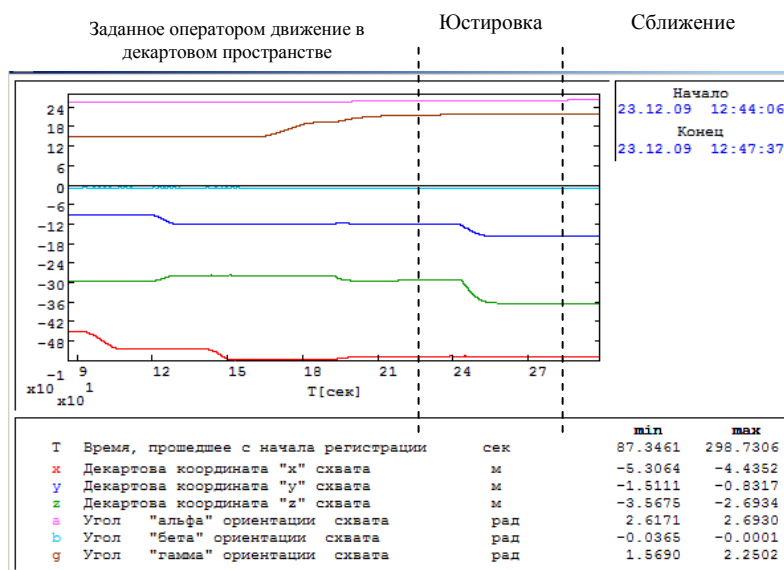


Рисунок 5 – Линейные и угловые координаты РО относительно базовой системы координат

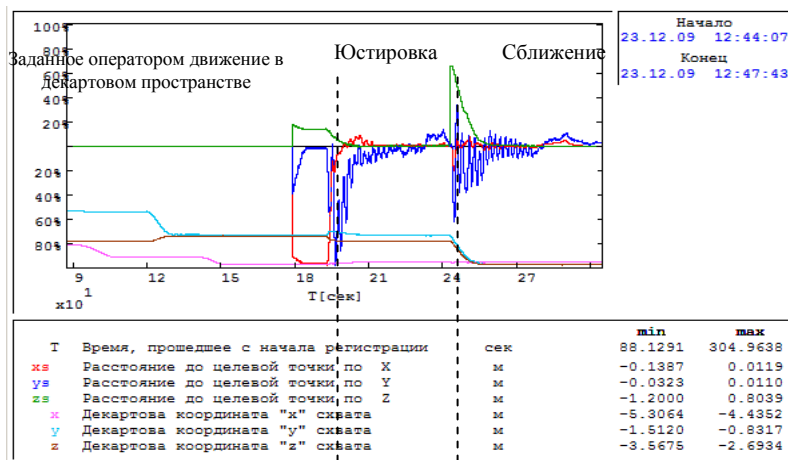


Рисунок 6 – Линейные координаты РО относительно базовой системы координат и системы координат базовой точки

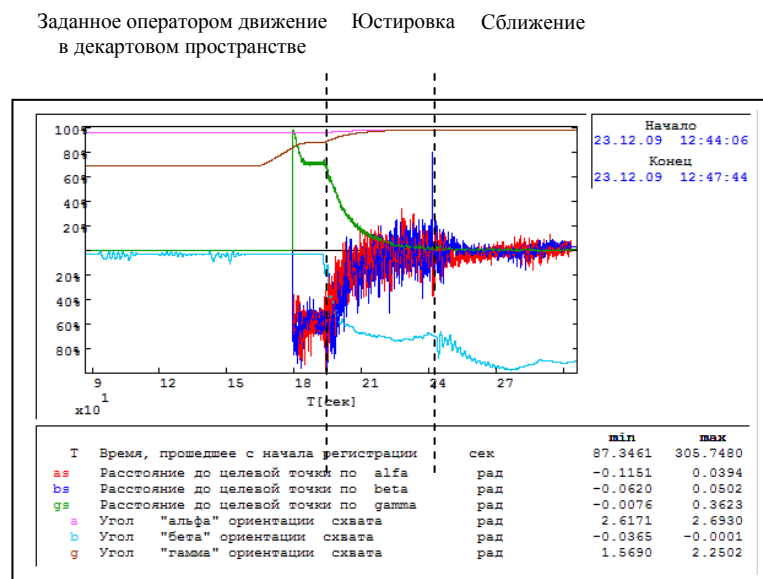


Рисунок 7 – Угловые координаты РО относительно базовой системы координат и системы координат базовой точки

На рисунке 8 приведены примеры записи процессов выполнения на ФМС контактной операции, заключающейся в перемещении схвата КМР по конической поверхности, соответствующей поверхности интерфейса стыковочных агрегатов. Операция выполняется в автоматическом режиме с использованием информации СМД, установленном на схвате ПР. На рисунке 8 справа - координаты Z и Y ЗУМ

КМР при выполнении контактной операции, слева – фрагмент записи зарегистрированных СМД сил контактного взаимодействия.

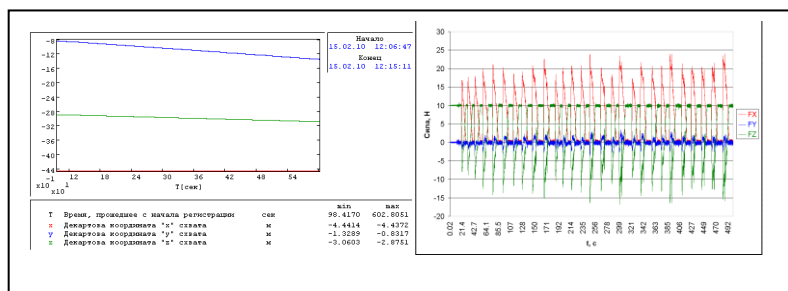


Рисунок 8 – Динамические процессы при выполнении контактной операции

## 6.2 Подготовка операторов КМР

ПО ФМС дополнено программно-математическими средствами оценки управляющей деятельности операторов КМР [22]:

1. Разработаны и обоснованы критерии оценки непрерывной управляющей деятельности на основе выполнения оператором серии тестовых операций (упражнений).

2. Разработаны сюжеты для составления тестовых операций.

3. Разработаны программно-методические средства (ПМС) оценки управляющей деятельности:

- ПМС для составления тестовых операций позволяют составить различные тестовые операции с учетом ограничений, присущих конкретным КМР; сформировать и сопровождать архив упражнений; инициировать и ставить на исполнение программное обеспечение МСРВ и других подсистем ФМС.

- ПМС регистрации процессов управления обеспечивает регистрацию параметров процесса управления, необходимых для расчета полного комплекта оценок.

- ПМС расчета первичных оценок просматривает файл с зарегистрированными параметрами и, если данные корректны, вычисляет первичные оценки по специально разработанным алгоритмам. Результат вычислений записывается в специальном образом организованную базу данных.

- ПМС статистической обработки оценок позволяют выполнить статистическую обработку совокупности первичных оценок для серии подходов каждого из зарегистрированных операторов.

- ПМС ведения базы данных, хранения и предъявления результатов позволяют пополнять базу оценок, просматривать имеющиеся первичные, и статистически обработанные оценки в наиболее информативной форме, корректно удалять ненужные записи.

Применение ПМС позволяет оперативно и обоснованно оценить степень подготовленности операторов, корректировать ход подготовки. Применение ПМС актуально при исследовании свойств человеко-машинного интерфейса.

На рисунке 9 приведены примеры оценок управляющей деятельности двух операторов при выполнении ими транспортной операции (критерий оценки –

время выполнения операции). На рисунке 9 слева приведены первичные данные, на этом же рисунке справа – после регрессионного анализа (тренды). Кривые имеют характерный вид – в них различаются фаза обучения, плато постоянства качества и фаза усталости оператора.

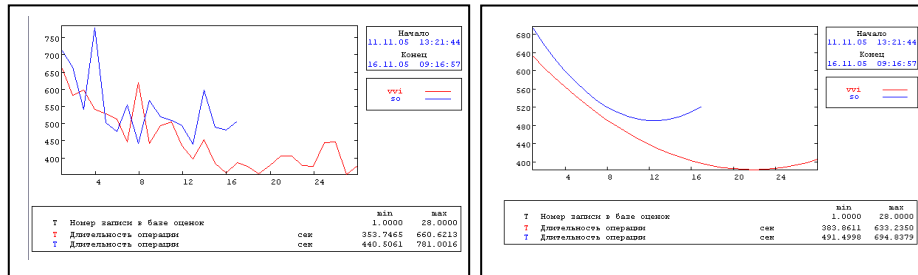


Рисунок 9 – График изменения первичной оценки «время наведения» и тренды для этой оценки

На рисунке 10 приведены результаты регрессионного анализа показателей двух видов для 5 различных операторов. Показатели характеризуют точность выдерживания оператором заданного направления движения. Кривые показывают специфику различных операторов.

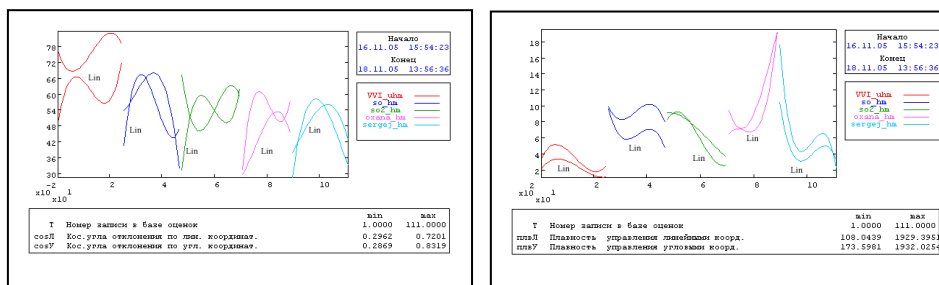


Рисунок 10 – Тренды показателей «точность» и «плавность»

На рисунке 11 приведены результирующие оценки для четырех операторов по серии выполнения операции «Юстировка» с помощью 6-степенных рукояток. Операция заключается в обеспечении точной установки ЗУМ КМР относительно базовой точки. Критерий оценки – полнота использования возможностей средств управления.

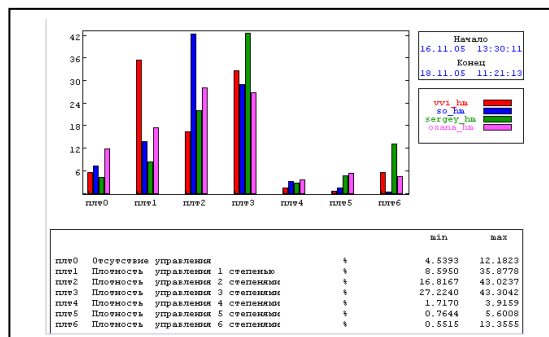


Рисунок 11 – Статистические оценки показателя «плотность управления»

Для целей начальной подготовки космонавтов – операторов КМР разработан программно-методический комплекс «Манипуляторы международной космической станции». Комплекс включает общие данные о 3-х КМР МКС (ERA, SSRMS, JEMRMS) и в режиме анимации иллюстрирует выполнение типовых манипуляционных операций КМР [23]. На рисунках 12-13 приведены некоторые видеокдры комплекса.



Рисунок 12 – Заглавный видеокдр комплекса

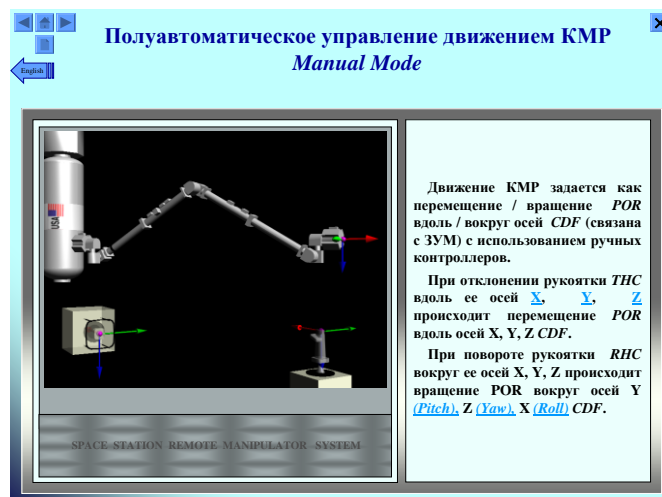


Рисунок 13 – Иллюстрация режима полуавтоматического управления от задающих рукояток

## 7. Направления развития ФМС.

Главные свойства ФМС – гибкое программное обеспечение, развитый пользовательский интерфейс, включение физических макетов подсистем и элементов КМР позволяют проводить на его базе опережающие исследования по широкому кругу актуальных проблем: организация человеко-машинного интерфейса, отработка операций при осуществлении внекорабельной деятельности космонавтов, оценка управляющей деятельности операторов, построение полуавтономных и супервизорных систем дистанционного управления КМР, интеллектуальные КМР, управление двурукими КМР с тактильным оучствлением и др.

### Список использованных источников

- 1/ Лесков А.Г., Шигорин Л.П., Шишов В.П. Автоматизированное проектирование систем управления манипуляционными роботами при помощи аналого-цифрового вычислительного комплекса. // Управление робототехническими системами и их оучствление: Сборник статей. –М., 1983. – С. 59-69.
- 2/ Программно-аппаратурный комплекс для моделирования и расчета систем управления манипуляционных роботов/ В.Н.Казаков, А.Г.Лесков, В.Е.Метлин, А.К.Сидоров // Управление в робототехнических комплексах и гибких автоматизированных производствах: Межвуз. сб. научных трудов. М.: МИРЭА, 1987. – С.34-40.
- 3/ Лесков А.Г., Игнатов В.И., Лескова С.М. Полунатурное моделирование технологических операций, выполняемых робототехническими комплексами // Изв. ВУЗов. Машиностроение. – 1993. – №2. – С.136-139.
- 4/ Лесков А.Г., Илларионов В.В. Математическое и полунатурное моделирование операций космических манипуляционных роботов //Пилотируемые полеты в космос: Тез. докл. 8-й Международной научно-практической конференции. –Звездный городок, 2009. – С.70-71.
- 5/ Лесков А.Г., Илларионов В.В., Лескова С.М., Полухин В.И. Разработка функционально-моделирующих стендов для подготовки операторов космических манипуляционных роботов. Звездный городок, тез. докл. 6-й МНТК «Пилотируемые полеты в космос», 2005, С.179-180.
- 6/ Универсальный функционально-моделирующий стенд космических манипуляционных роботов в системе подготовки космонавтов / В.И. Полухин, В.П. Вересов, И.В. Воронеж, А.Г. Лесков // Авиакосмическая техника и технология. Научно-технический журнал. – 2000. – №3. – С.53-61.
- 7/ Лесков А.Г., Метлин В.Е., Игнатов В.И. Полунатурное моделирование операций, выполняемых с использованием космических манипуляторов // Профессиональная деятельность космонавтов и пути повышения ее эффективности: Тез. докл. Международной научно-практической конференции. – Звездный городок, 1993. – С.115-116.
- 8/ Integrated Laboratory Instruction in Robotics / V.V. Illarionov, A.G. Leskov, S.M. Leskova, A.V. Shumov and A.M. Zimin, // Engineering Education: Proc. of International Conference ICEE-2008. – Pecs - Budapest, Hungary, 2008. - Paper No 83.
- 9/ Remote Access Computer-Aided Laboratories and Practical Training of XXI Century Engineers / I.B. Fedorov, A.M. Zimin, S.V. Korshunov, A.G. Leskov, G.N. Solovyev, B.V. Buketkin and A.V. Shumov // Innovations 2008: World Innovations in



Engineering Education and Research / Ed. W. Aung. - INEER, USA, Arlington, VA, 2008. – Chap. 37, pp. 415 – 423.

10/ ERA. Flight Operations Manual and Procedures. – Fokker Space B.V., Nov 2005.

11/ Система удаленного доступа к учебно-научному экспериментальному робототехническому комплексу / А.М. Зимин, В.В. Илларионов, А.Г. Лесков, С.М. Лескова, А.В. Шумов // Научный сервис в сети Интернет: решение больших задач: Труды Всероссийской научной конференции. – М. - 2008. - С. 437 - 439.

12/ Медведев В.С., Лесков А.Г., Ющенко А.С. Системы управления манипуляционных роботов. – М.:Наука, 1978. – 416 с.

13/ Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. – М.:Мир, 1989. – 624 с.

14/ Лесков А.Г., Ющенко А.С. Моделирование и анализ робототехнических систем. – М.:Машиностроение, 1992. – 80 с.

15/ Лесков А.Г., Медведев В.С. Анализ динамики и синтез управления движением исполнительных органов роботов-манипуляторов // Изв.АН СССР. Техническая кибернетика. –1974. –№6. –С.80-88.

16/ Построение систем управления роботами с использованием математических моделей манипуляционных устройств / Е.П.Попов, А.Ф.Верещагин, А.Г.Лесков, В.С.Медведев // Управление в пространстве: Труды VI Международного симпозиума ИФАК. –М., 1974. –Т.2 – С.255 - 266.

17/ Лесков А.Г., Илларионов В.В., Лескова С.М. Методы и алгоритмы моделирования динамики манипуляционных роботов // Оборонная техника. Научно-технический журнал. – 2001. – № 8-9. – С.50-57.

18/ Комплекс программ автоматизации моделирования следящих приводов. / А.Г.Лесков, Ю.Х.Аминев, С.М.Лескова, Л.П.Шигорин //Алгоритмы и программы: Сб. ГосФАП СССР. – М., 1985. – №2. – С.70.

19/ Комплекс программ автоматизации проектирования следящих приводов. / А.Г.Лесков, Ю.Х.Аминев, С.М.Лескова, Л.П.Шигорин //Алгоритмы и программы: Сб. ГосФАП СССР. –М., 1985. – №2. – С.58.

20/ Лесков А.Г., Илларионов В.В. Моделирование программ действий космических манипуляционных роботов. Звездный городок, тез. докл. 5-й МНТК «Пилотируемые полеты в космос», 2003, С.40-41.

21/ Вудс Р, Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. М.:Техносфера, 2005. 1072 с.

22/ Лесков А.Г., Игнатов В.И., Лескова С.М. Информационно-методическое обеспечение задач подготовки операторов бортовых манипуляторов // Пилотируемые полеты в космос: Тез. докл. 3-й Международной научно-практической конференции. – Звездный городок, 1997. – С.103-104.

23/ Лесков А.Г., Игнатов В.И., Илларионов В.В. Интерактивный компьютерный курс «Манипуляторы МКС» // Пилотируемые полеты в космос: Тез. докл. 4-й Международной научно-практической конференции. –Звездный городок, 2000. – С.100-101.