

## Секция 2. Профессиональная деятельность космонавтов.

### ДВУРУКИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНО-МОДЕЛИРУЮЩИЙ СТЕНД В ЗАДАЧАХ НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ ОПЕРАЦИЙ И ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ КОСМИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ РОБОТОВ

А. Г. Лесков, В.В.Илларионов, С.Д.Морошкин, Е.В.Феоктистова, К.В.Бажинова  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)

**Введение.** Сложность и дороговизна космических аппаратов (КА), значительные риски, которыми подвергаются космонавты, обуславливают необходимость тщательной подготовки и отработки операций в наземных условиях. Эффективный метод решения этой задачи – полунатурное моделирование с использованием физических макетов КА и средств человеко-машинного интерфейса. Функционально-моделирующий стенд (ФМС) предоставляет возможность для моделирования в наземных условиях динамики и процессов управления «одноруких» космических манипуляционных роботов (КМР). К настоящему времени ФМС модернизирован в направлении дооснащения двумя промышленными роботами, а также системами тактильного и силомоментного ощущения. Проведенная модернизация ФМС позволяет использовать его по более широкому кругу задач отработки операций подготовки операторов КМР.

**Внешний вид двурукого ФМС** представлен на рисунке 1. Вычислительный блок выполняет формирование компьютерных (виртуальных) моделей динамики объектов в декартовом пространстве при действии управляющих сигналов и возмущений. Сформированные на моделях законы передаются по каналам связи на промышленные роботы (ПР), которые преобразуют виртуальные переменные в 6-мерные физические перемещения. Диапазон этих перемещений определяется свойствами ПР. Управляющие сигналы формируются средствами человеко-машинного интерфейса. Возмущения – системами технического зрения (СТЗ), силомоментными (СМД) и тактильными датчиками внешней средой.



Рисунок 1. Внешний вид двурукого ФМС

В ФМС принят унифицированный протокол обмена между устройствами, позволяющий подключать к модели серийные ПР различного класса по объему рабочего пространства (от 0,5 до 3 м и более) и грузоподъемности (от 3 до 300 кг и более), а также различные средства управления и очувствления, без изменения кода программ. Допускает вариацию и программное обеспечение вычислительного блока.

#### **Модели объектов.**

1. *ФМС - модель КМР.* Здесь вычислительный блок осуществляет формирование математической модели КМР, в составе которой многозвездный исполнительный механизм, приводы сочленений, планировщик траектории. Математические модели подобных систем, реализованные в ФМС, охватывают КМР с произвольным числом звеньев, в том числе – упругих. В двуруком исполнении вычислительный блок обеспечивает формирование моделей обоих КМР.

2. *ФМС – модель свободнолетающего объекта в невесомости.* В этом случае в вычислительный блок вводится модель объекта, макет которого размещен в ЗУМ ПР, в виде двух уравнений, описывающих поступательное перемещение центра масс под действием вектора  $F$  внешних сил и вращение вокруг центра масс под действием вектора  $M$  внешних моментов. При расчете векторов  $F$  и  $M$  используются СМД, установленные на ПР. Учитывая возможность применения ПР различного класса, в составе макета объекта могут рассматриваться как полномасштабные изделия, так и отдельные их фрагменты, например,стыковочные устройства (СтУ).

3. *ФМС – модель взаимодействия КМР и свободнолетающего объекта в невесомости.* В составе ФМС – две подсистемы «модель-ПР». Одна из них – модель КМР, другая – модель объекта. Каждый из ПР оснащен СМД, формирующими векторы сил  $F$  и моментов  $M$  контактного взаимодействия КМР и объекта. Сигналы этих СМД вводятся в компьютерные модели.

4. *ФМС – модель взаимодействия двух свободнолетающих объектов в невесомости.* В составе ФМС – две подсистемы «модель-ПР». Одна из них - модель одного КМР, объекта, другая – модель второго объекта. Каждый из ПР оснащен системами очувствления, формирующими силы и моменты контактного взаимодействия объектов. Сигналы этих датчиков вводятся в компьютерные модели подсистем.

В последних двух случаях в качестве модели одного из объектов может рассматриваться космонавт, выполняющий операцию в открытом космосе и удерживаемый манипулятором. В этом случае в составе ФМС должны быть предусмотрены средства для фиксации человека-оператора в скафандре в ЗУМ одного из ПР.