

УДК 629.7

## **Методика компьютерной технологии моделирования динамики движения отделившегося груза**

А.В. Чемякин

### **Аннотация**

Настоящая работа посвящена вопросам методики анализа динамики отделения груза с использованием современных технологий компьютерного математического моделирования. На примере отделения ракеты от авиационного катапультного устройства рассмотрены порядок и особенности создания модели отделившегося груза. Результатом работы является отработка технологии компьютерного моделирования, позволяющей создать адекватную динамическую модель отделившегося груза и измерить положения, скорости и ускорения любых его точек в любой момент времени. Предложены пути интеграции этой технологии с другими технологиями анализа и синтеза робототехнических систем авиационного вооружения

### **Ключевые слова:**

отделение груза; авиационное катапультное устройство; моделирование; твердотельная модель.

Основной задачей такого класса авиационных робототехнических систем, как авиационные катапультные установки (АКУ), является обеспечение безопасного отделения ракет в широком диапазоне условий применения. Задача решается путем обеспечения в этих условиях требуемых параметров отделения ракеты от самолета, т.е. параметров, являющихся начальными условиями свободного движения ракеты. Поэтому оценка кинематики и динамики отделения груза под действием всех силовых факторов является важнейшей прикладной научно-технической задачей. Настоящая работа посвящена путям совершенствования исследования принудительного отделения груза при помощи

современных технологий компьютерного математического моделирования. Вопрос выбора инструментария математического моделирования для смежной задачи был рассмотрен автором в [1]. Использование системы компьютерной математики *MATLAB* и встроенного в него средства математического моделирования *SimMechanics (Simulink) Matlab* показало себя эффективным при исследовании динамики раскрытия рычагов авиационной катапультной установки. В связи с этим особый интерес представляет собой использование того же инструментария для исследования движения груза уже после его отделения от носителя. Решение смежных задач на основе единой методики и с использованием одних и тех же средств открывает перспективы для создания единой системы синтеза и анализа АКУ.

Целью настоящей работы послужило создание в среде математического моделирования *Simulink Matlab* модели динамики движения груза после процесса его отделения от носителя. К модели предъявляются следующие требования:

1. Модель предназначена для исследования кинематики и динамики отделения груза.
2. Модель должна быть пригодна для исследования не только плоско-параллельного, но и пространственного движения.
3. Модель должна учитывать инерционно-массовые характеристики отделяемого груза.
4. На данном этапе модель отделяемого авиационного средства поражения должна включать в себя 3 точки приложения сил, соответствующие узлам подвески и центру масс. Однако в модель должен быть заложен потенциал для увеличения числа этих точек для случаев, когда потребуется усложнить модель.

Разработанный программный комплекс состоит из двух блоков: блока подготовки расчетных данных и непосредственно модели отделившегося груза, выполненной в *Simulink*.

Блок подготовки расчетных данных находится в *m*-файле (в терминологии *MatLab*). Он предназначен для ввода и редактирования величин входных параметров процесса отделения груза: массово-инерционных характеристик, геометрического положения точек приложения сил и моментов, величин сил и моментов с возможностью их задания как постоянной величины, либо в виде функции от времени, либо по нескольким значениям с последующей линейной интерполяцией. Для существующих изделий с уже известными параметрами массово-инерционные характеристики могут быть введены напрямую. Для создаваемых изделий можно использовать описанную в [1] технологию трансляции данных из твердотельной модели *SolidWorks* в блокковую диаграмму *MatLab*, либо внести данные в

m-файл напрямую, если модель отделяемого груза достаточно проста и позволяет это сделать. Так же зарезервированы переменные для задания характеристик движения носителя на тот случай, если дальнейшее расширение модели потребует их введения. Следует отметить, что в m-файле вводятся только величины параметров отделения, а их размерность присваивается уже в самой модели. Работа с блоком подготовки расчетных данных осуществляется во встроенном редакторе *MatLab Editor/Debugger*.

После окончания ввода данных необходимо активировать m-файл, технически являющийся программой – скриптом, для передачи данных из блока подготовки расчетных данных в рабочую область *MatLab*. В дальнейшем при работе с блоковой диаграммой *Simulink MatLab* (S-моделью) динамики отделившегося груза величины параметров отделения будут использоваться, поскольку Simulink так же обращается к рабочей области Matlab.

Модуль математического моделирования процесса отделения представляет собой блоковую диаграмму *Simulink MatLab*. На рисунке 1 представлен общий вид этой s-модели.

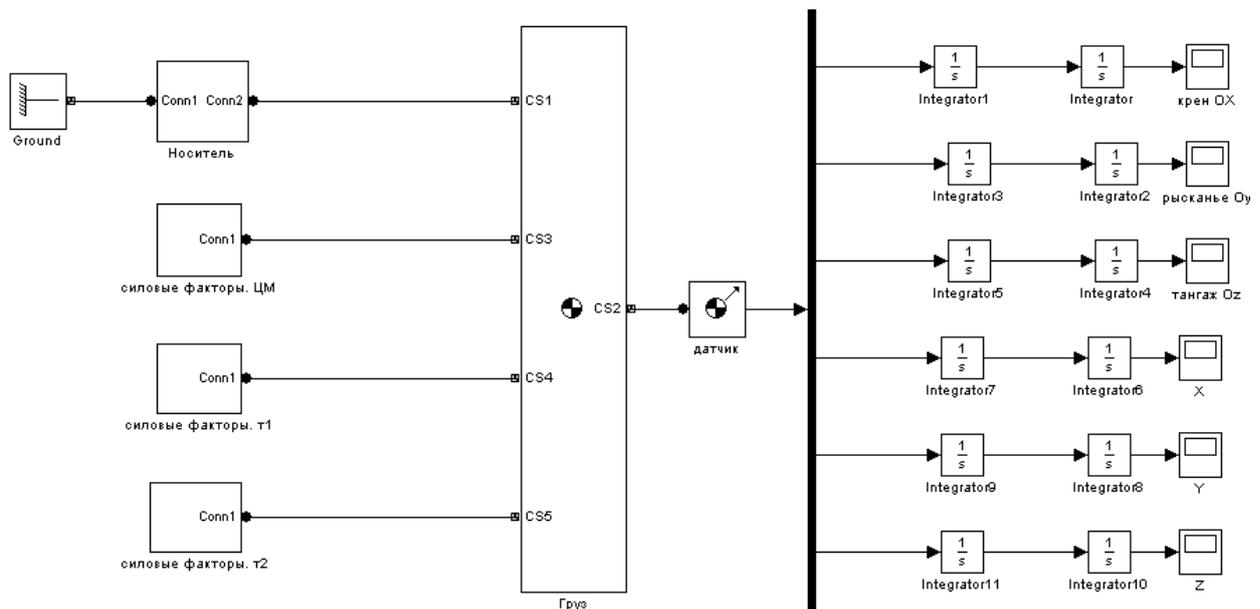


Рисунок 1 – Общий вид S-модели отделения груза

Модель состоит из нескольких блоков и подсистем, объединенных в единую систему специальными связями.

Блок «Груз» (см. рисунок 2) описывает массово-инерционные характеристики отделяемого груза, а так же положение точек приложения сил и механических связей с «носителем».

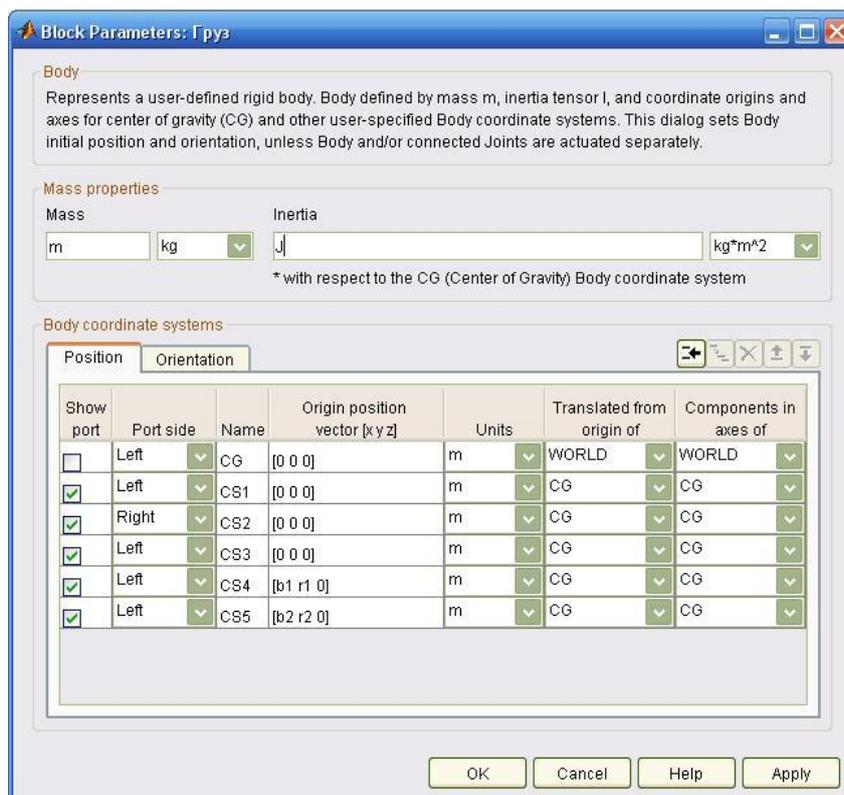


Рисунок 2 – Параметры блока «Груз»

Для решения текущих задач исследования и отработки модели принято допущение, что центр масс груза совпадает с центром масс носителя, а сам носитель неподвижен относительно «земли». Это достигается за счет отключения связей внутри подсистемы «Носитель» (см. рисунок 3) между блоком носителя и соответствующими блоками задания положений, скоростей и ускорений. Однако сама модель носителя реализована таким образом, что для дальнейших исследований может быть настроена на любое положение отделяемого груза и задание линейных и угловых положений, скоростей и ускорений носителя.

Помимо этого к блоку «груз» подсоединены 3 подсистемы, отвечающие за моделирование силовых воздействий на отделяемый груз.

На рисунке 4 представлена подсистема силового воздействия на задний бугель. Она снабжена блоками входных данных, блоками логики, датчиками и блоком формирования вектора силовых воздействий. Результатом вычислений в данном блоке является вектор силовых воздействий, который «присоединяется» к соответствующей точке на отделяемом грузе.

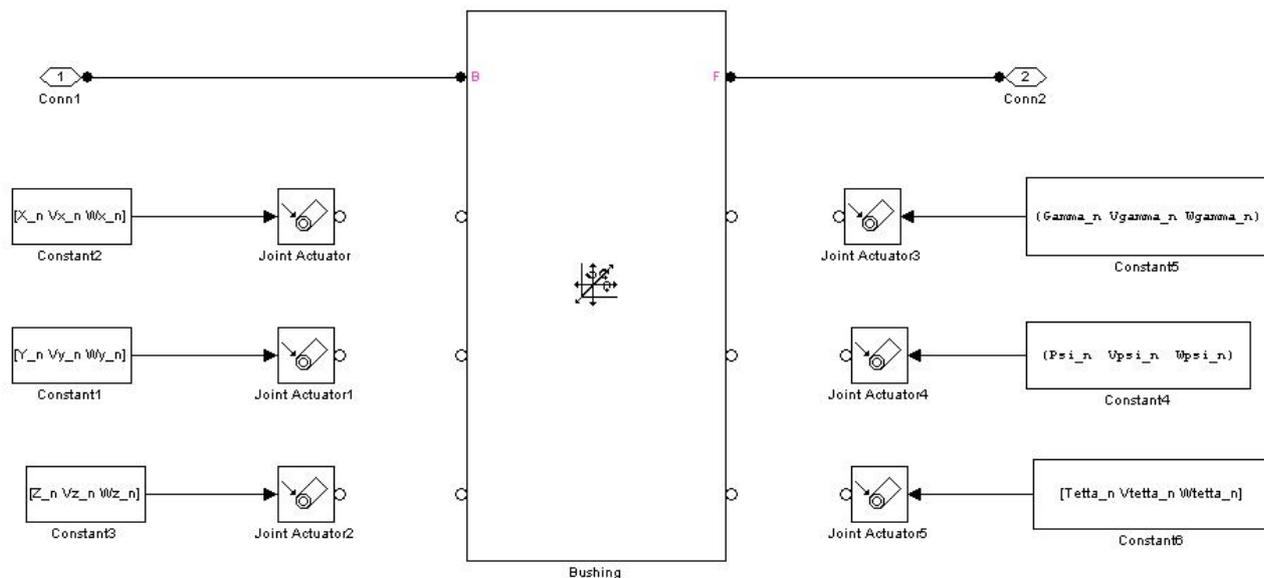


Рисунок 3 – Подсистема «Носитель»

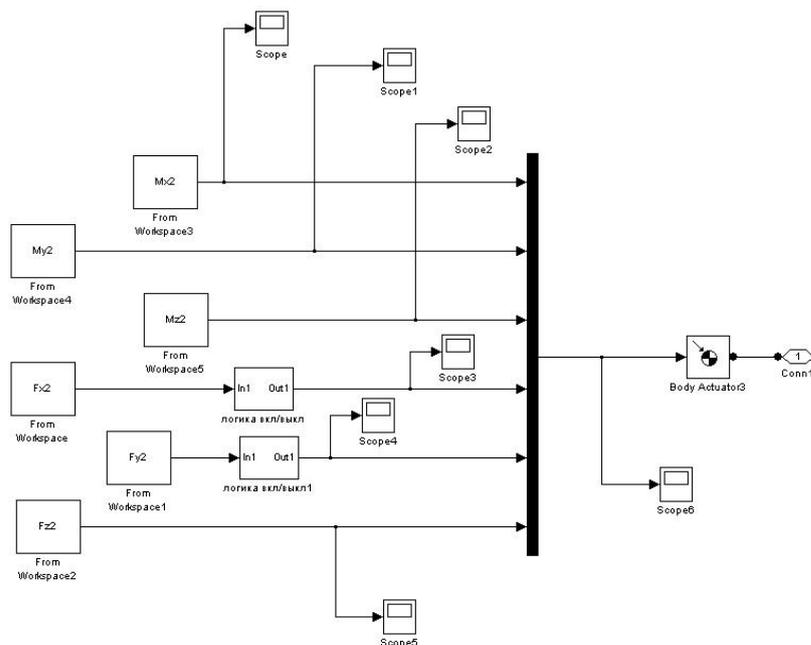


Рисунок 4 – Подсистема силового воздействия на задний бугель

Так же модель (см. рисунок 1) снабжена системой виртуальных датчиков и интеграторов. В процессе моделирования информация об угловых и линейных ускорениях «снимается» с груза, проходит через систему интеграторов, дважды интегрирующих ускорения по времени. Таким образом, данная модель позволяет получить величины линейных координат и углов поворота груза, его скоростей и ускорений в любой момент времени.

В качестве иллюстрации работы модели на рисунке 5 представлен график зависимости положения центра масс груза по оси Y от времени.



Рисунок 5 – Зависимость положения центра масс груза по оси  $Y$  от времени

Выбранные технологии компьютерного математического моделирования показали высокую эффективность при исследовании динамики принудительного отделения груза. Реализация этой технологии совместно с другими технологиями компьютерного синтеза и анализа на базе системы компьютерного математического моделирования Simulink Matlab открывает пути для повышения качества синтеза и анализа робототехнических систем авиационного вооружения и, в частности, авиационных катапультных установок.

### Библиографический список

1. Чемякин А. В., Врублевский Е. Г., Зарецкий Д. М., Юдаков С. В. Методика компьютерной технологии проектирования катапультных устройств для ракетного вооружения самолета пятого поколения.// Труды МАИ. 2010. № 38. С. 44.
2. Тихонов К.М. Разработка моделирования кинематики и динамики адаптивных АКУ / Проблемы совершенствования робототехнических и интеллектуальных систем ЛА : Сб. докл. VII-й Всерос. юбилейной науч.-техн. конф. «Проблемы совершенствования робототехнических и интеллектуальных систем ЛА», Москва, Мос. авиац. ин-т, 25-27 мая 2005 г. / Редкол.: В.А. Полковников (пред.). – М.: Изд-во МАИ, 2005.
3. Дэбни Дж.Б., Харман Т.Л. Simulink 4. Секреты мастерства /Пер. с англ. М.Л.Симонова. М.:Бином.Лаборатория знаний, 2003

### **Сведения об авторах**

Чемякин Антон Владимирович, аспирант Московского авиационного института  
(государственного технического университета);

тел. 8-916-911-26-07; e-mail: chemyakin\_a\_v@mail.ru.