

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Динамика систем твёрдых тел переменной структуры**

*Задания для курсовой работы*

Самара

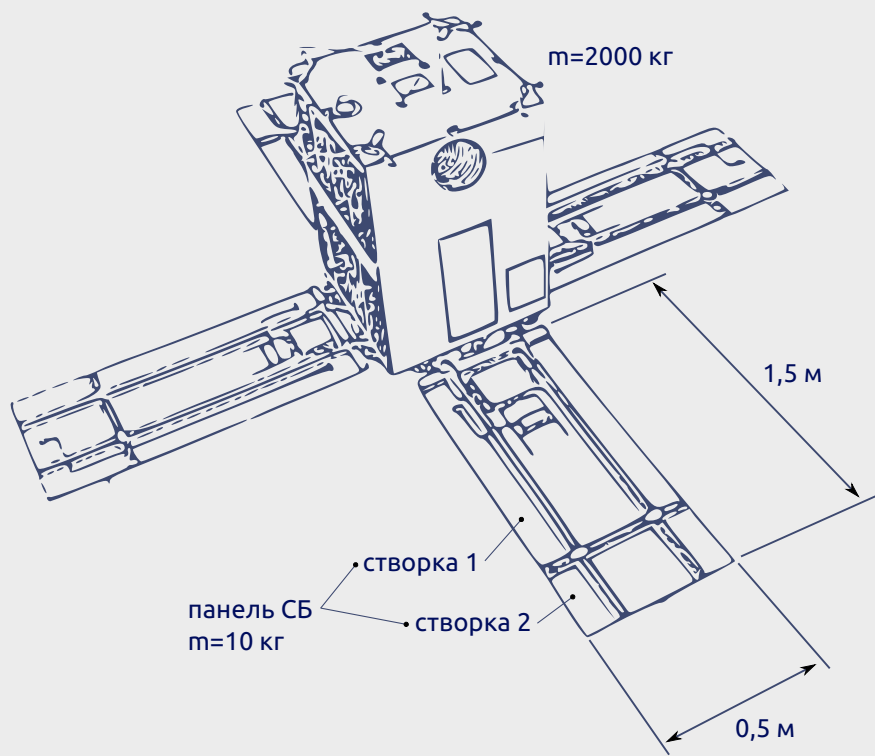
2010

Составители: Асланов Владимир Степанович,  
Юдинцев Вадим Вячеславович

В сборнике представлены задания для выполнения курсовой работы по курсу «Динамика систем твёрдых тел переменной структуры». Курс предназначен для студентов, обучающихся по направлению 010800 «Механика и математическое моделирование». В качестве среды численного моделирования при выполнении курсовых работ рекомендуется использовать математический пакет MATLAB или аналогичное по возможностям свободное ПО: OCTAVE, Python (с библиотеками numpy, scipy).

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2010

## КА "Ginga"



## Задание

1. Провести анализ открытых источников с целью оценки и уточнения геометрических и массовых характеристик КА.
2. Подготовить реферат содержащий информацию о проекте: составе научной аппаратуры, времени, целях и результатах миссии.
3. Построить модель процесса раскрытия створок солнечных батарей КА.
4. Подобрать характеристики пружинных приводов створок (торсионов), обеспечивающих гарантированное раскрытие панели солнечной батареи в течение 4...6 секунд после начала процесса. Учесть, что момент сопротивления в шарнирах створок может находиться в диапазоне (0,2...0,3) Нм. Ориентировочные массы створок, КА, а также геометрические параметры створок приведены на рисунке.

## Отчётные материалы (в электронном виде)

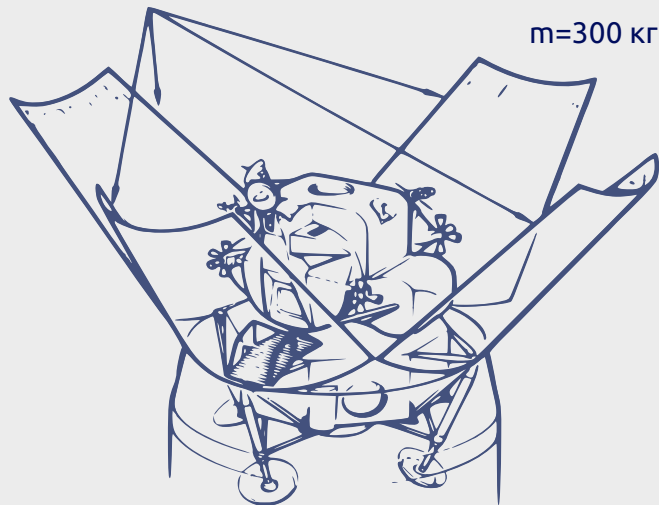
1. Реферат в формате pdf
2. Модель системы в пакете MSC.ADAMS
3. Видеоролик, описывающий построение модели (screencast)

## Источники

[http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/ginga/ginga\\_about.html](http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/ginga/ginga_about.html)

## КА "Аполлон"

Створки обтекателя



уровень сложности

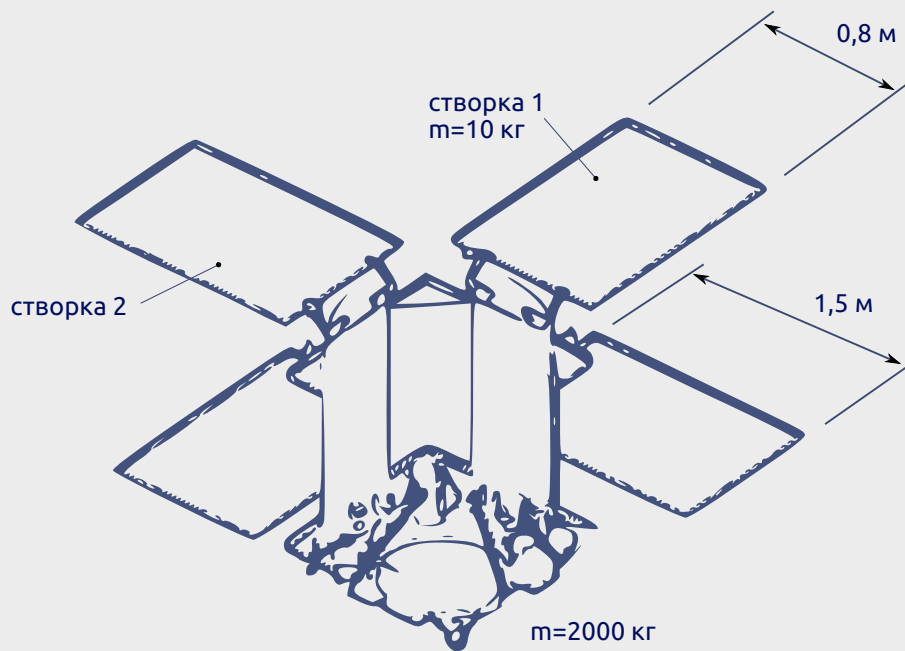
**Задание**

1. Провести анализ открытых источников с целью оценки и уточнения геометрических и массовых характеристик створок обтекателя.
2. Подготовить реферат содержащий информацию о проекте: времени, целях и результатах миссии.
3. Построить модель процесса раскрытия створок солнечных батарей.
4. Подобрать характеристики пружинных приводов створок (толкателей), обеспечивающих гарантированное раскрытие и безударное отделение створок головного обтекателя. Принять допущение о том, что РН в процессе отделения створок движется с продольной перегрузкой  $n_x=0,5$ .

**Отчётные материалы (в электронном виде)**

1. Реферат в формате pdf
2. Модель системы в пакете MSC.ADAMS

## КА "NEAR"



## Задание

1. Провести анализ открытых источников с целью оценки и уточнения геометрических и массовых характеристик КА.
2. Подготовить реферат содержащий информацию о проекте: составе научной аппаратуры, времени, целях и результатах миссии.
3. Построить модель процесса раскрытия створок солнечных батарей.
4. Подобрать характеристики пружинных приводов створок (торсионов), обеспечивающих гарантированное раскрытие панели солнечной батареи в течение 4...6 секунд после начала процесса. Момент сопротивления в шарнирах створок не превышает 0,3 Нм (и не меньше 0,1Нм).

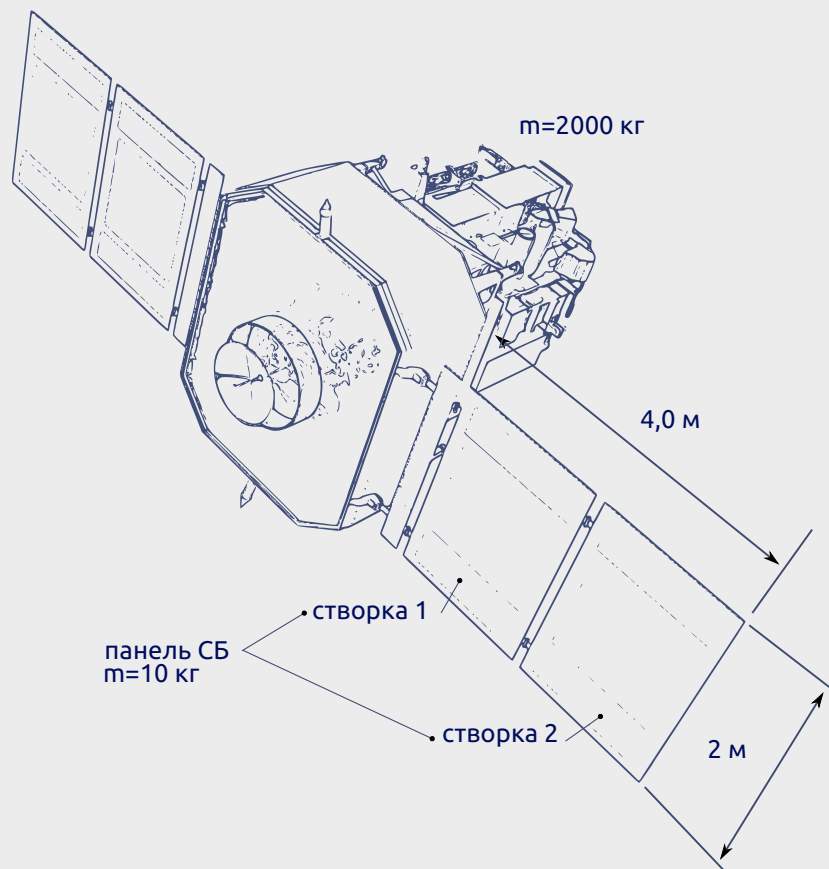
## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Реферат в формате pdf
2. Модель MSC.ADAMS
3. Видеоролик, описывающий построение модели (screencast)

## Источники:

- [http://en.wikipedia.org/wiki/NEAR\\_Shoemaker](http://en.wikipedia.org/wiki/NEAR_Shoemaker)  
<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/near.html>  
<http://near.jhuapl.edu/>

## КА "SOHO"



## Задание

1. Провести анализ открытых источников с целью оценки и уточнения геометрических и массовых характеристик КА.
2. Подготовить реферат содержащий информацию о проекте: составе научной аппаратуры, времени, целях и результатах миссии.
3. Построить модель процесса раскрытия створок солнечных батарей.
4. Подобрать характеристики пружинных приводов створок (торсионов), обеспечивающих гарантированное раскрытие панели солнечной батареи в течение 4...6 секунд после начала процесса. Момент сопротивления в шарнирах корневых створок (непосредственной присоединенных к КА) не превышает 0,3 Нм, в шарнирах концевых створок - не превышает 0,1 Нм. Требуемая последовательность фиксации створок: от "корневой к концевой".
5. Оценить влияние угловой скорости вращения КА (не более 2 градусов в секунду вокруг любой оси) на процесс раскрытия створок: время раскрытия панелей, угловую скорость створок на момент их фиксации.

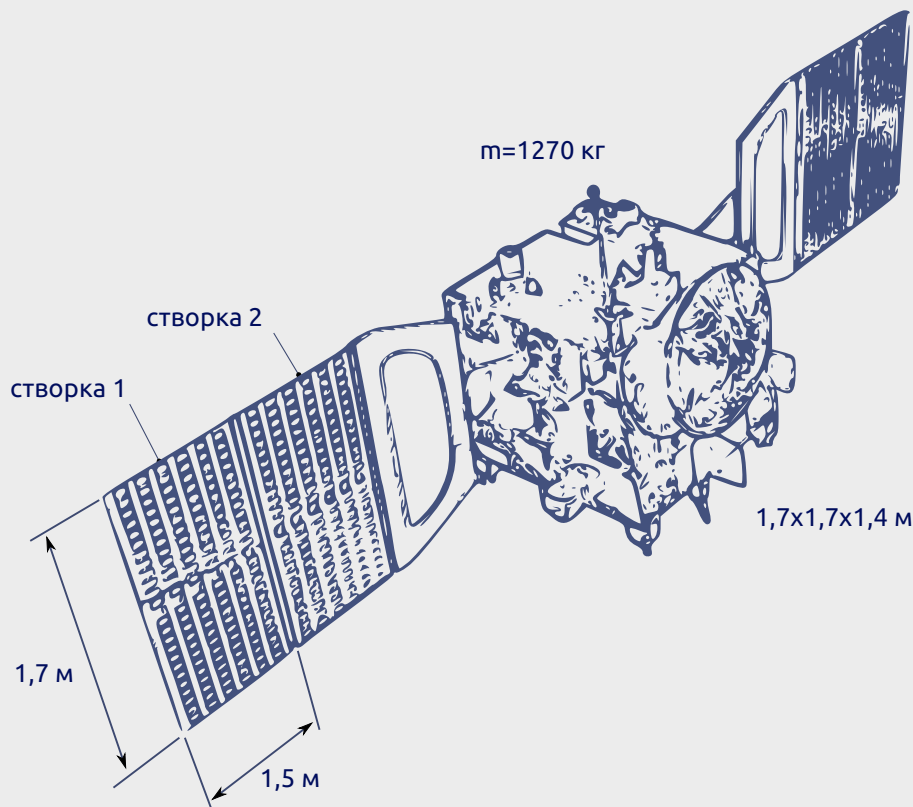
## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Реферат в формате pdf
2. Модель MSC.ADAMS
3. Видеоролик, описывающий построение модели (screencast)

## Источники

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/about/spacecraft.html>

# КА "Venus Express"



## Задание

1. Провести анализ открытых источников с целью оценки и уточнения геометрических и массовых характеристик КА.
2. Подготовить реферат содержащий информацию о проекте: составе научной аппаратуры, времени, целях и результатах миссии.
3. Построить модель процесса раскрытия створок солнечных батарей.
4. Подобрать характеристики пружинных приводов створок (торсионов), обеспечивающих гарантированное раскрытие панели солнечной батареи в течение 4...6 секунд после начала процесса. Момент сопротивления в шарнирах створок не превышает 0,3 Нм.

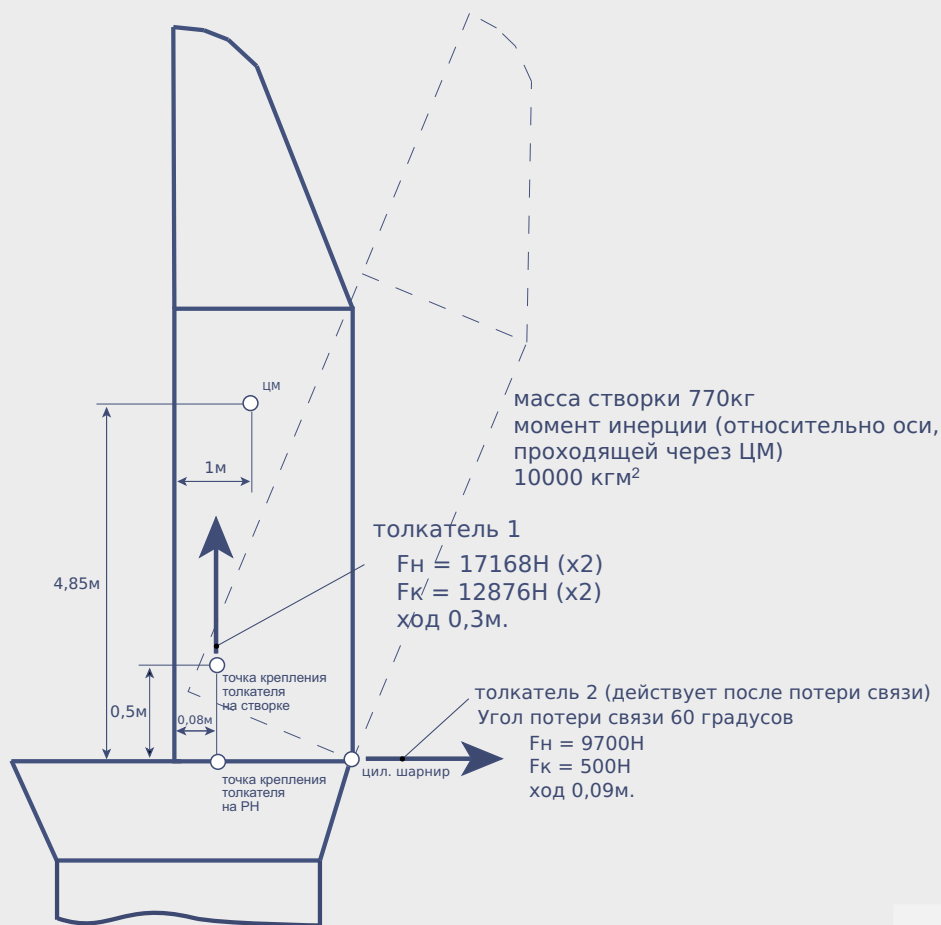
## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Реферат в формате pdf
2. Модель MSC.ADAMS
3. Видеоролик, описывающий построение модели (screencast)

## Источники

[http://www.venus.wisc.edu/mission\\_spacecraft.html](http://www.venus.wisc.edu/mission_spacecraft.html)

# Створки ГО РН "Союз"



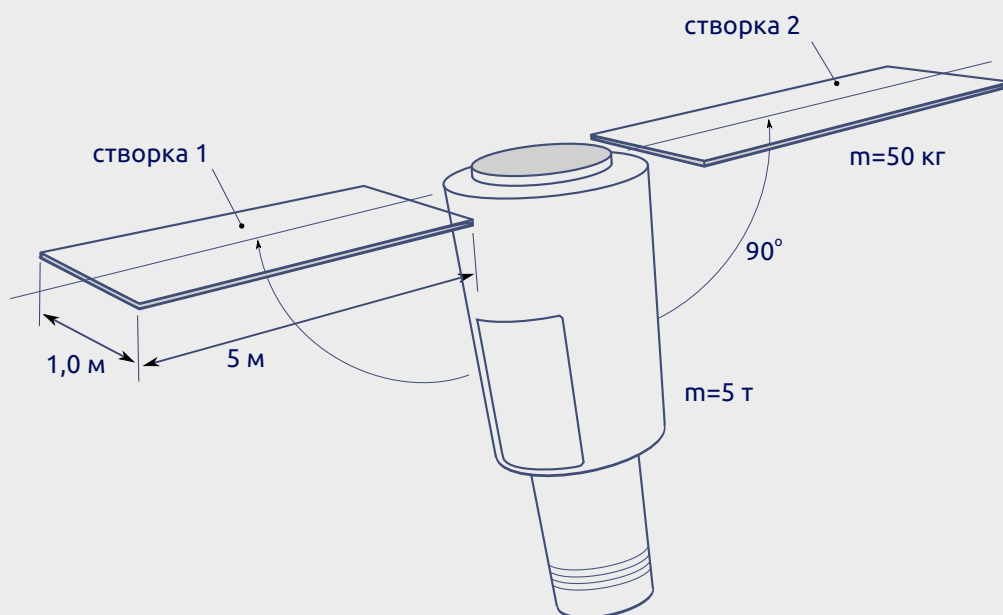
## Задание

1. Подготовить реферат содержащий информацию о типах головных обтекателей, используемых на РН типа "Союз".
2. Построить математическую модель процесса отделения створки ГО.
3. Обосновать выбор угла потери связи между створкой и ГО, определить параметры существенной влияющие на оптимальную величину этого угла.
5. В процессе отделения РН движется с перегрузкой  $n_x=1$ .

## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Реферат в формате pdf
2. Модель MSC.ADAMS
3. Видеоролик, описывающий построение модели (screencast)





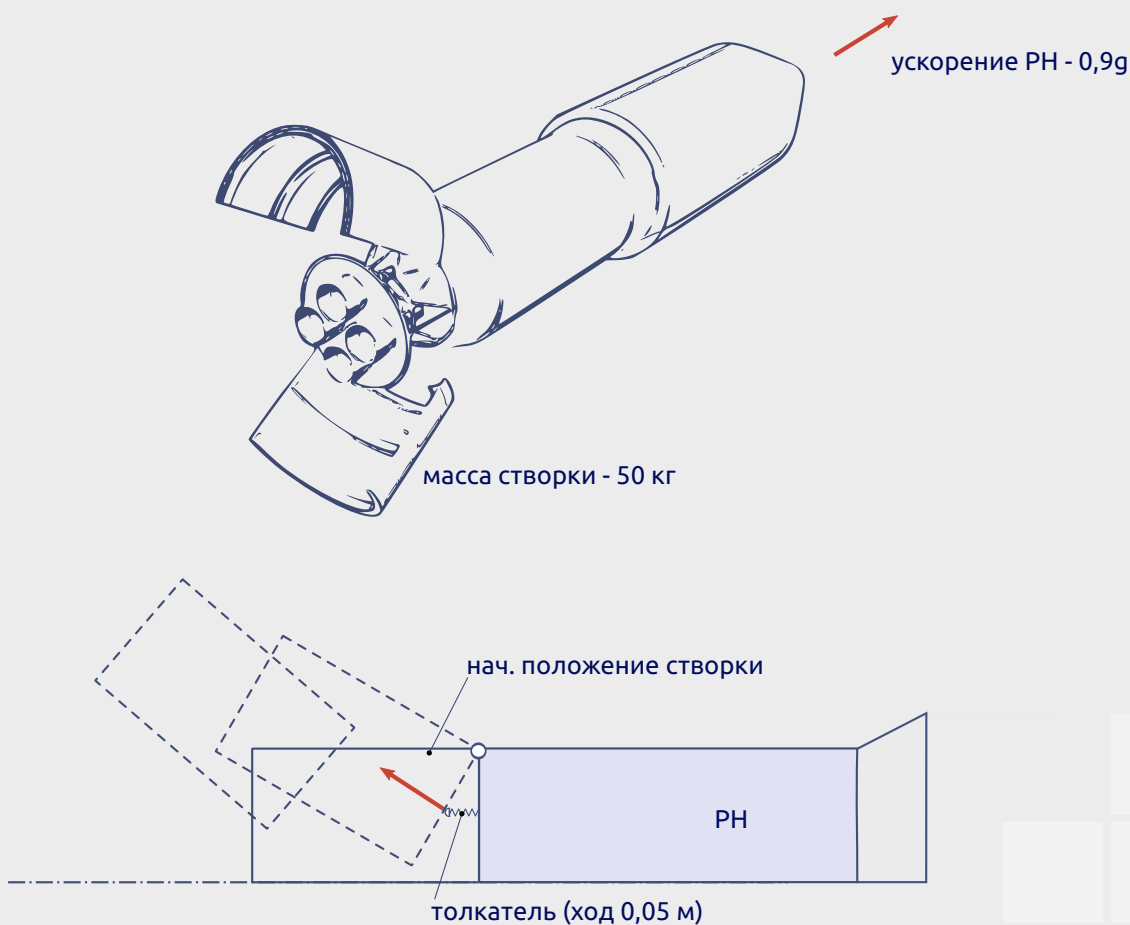
### Задание

1. Подготовить реферат, содержащий обзор открытых источников, о космических аппаратах дистанционного зондирования Земли.
2. Построить модель процесса раскрытия створок КА представленного на рисунке.
3. Подобрать параметры пружинных приводов (торсионов) обеспечивающих гарантированное раскрытие створок с угловой скоростью не более 1 рад/с. Момент сопротивления в шарнирах створок не превышает 2 Нм. Оценить влияние угловой скорости КА (до 2 град/с вокруг поперечных осей КА) на процесс раскрытия створок.

### Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Реферат в формате pdf
2. Модель MSC.ADAMS
3. Видеоролик, описывающий построение модели (screencast)

# Отделение створок ХО



уровень сложности

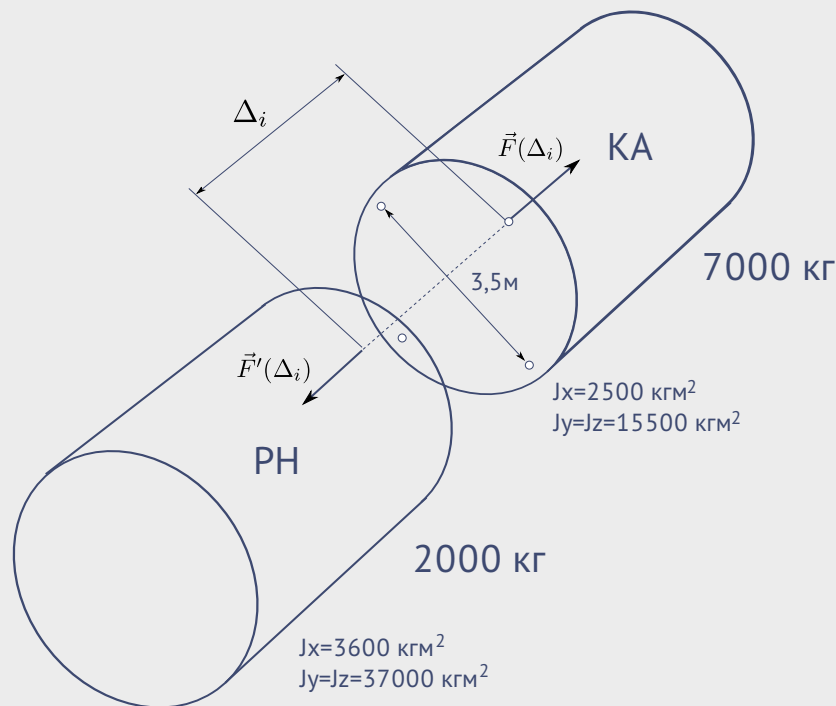
## Задание

1. Построить модель процесса отделения створок хвостового отсека, представленного на рисунке. Каждую створку считать сплошным однородным полуцилиндром. Движение створок не оказывает влияние на движение PH.
2. Определить параметры толкателей створки, обеспечивающих ее безударное отделение от PH.
3. Определить наилучший угол поворота створки при котором происходит потеря связи створки с PH.
4. Построить графики изменения угловой скорости створок от времени и угла поворота. Построить траекторию опасной точки створки.

## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Реферат в формате pdf
2. Модель в пакете MSC.ADAMS
3. Модель в пакете MATLAB
3. Видеоролик, описывающий построение модели (screencast)

# Отделение КА от РН



уровень сложности

## Задание

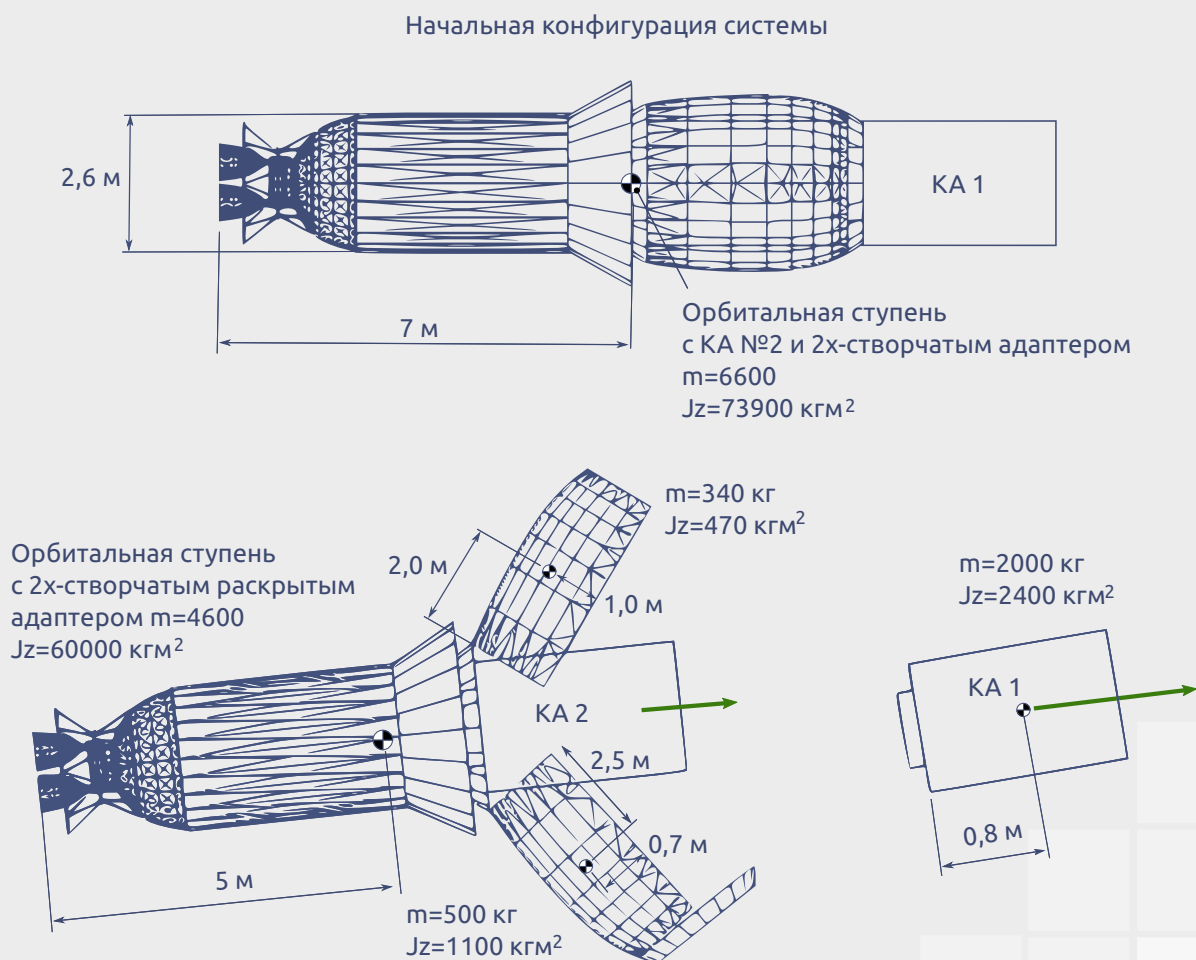
Построить модель процесса отделения КА от орбитальной ступени РН.  
 Определить линейные скорости КА и ступени после окончания работы толкателей.  
 Определить максимальные угловые скорости КА  
 с учетом того, что начальное усилие может отклоняться от номинального значения на 10%.

Усилие каждого из 4х толкателей зависит от расстояния  
 Начальное усилие 300 кг, конечное усилие 60 кг. Ход толкателя 0,25м.  
 На начальном этапе КА движется по направляющим (шпилькам), установленным на РН. Длина шпилек - 0,05 м.

## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Реферат в формате pdf
2. Модель MSC.ADAMS
3. Видеоролик, описывающий построение модели (screencast)

# Отделение 2х КА (тандем)



## Задание

Построить модель процесса отделения КА от орбитальной ступени РН.

Определить параметры толкателей КА (4 шт, ход пружины толкателя 0,25 м) обеспечивающих движение КА №1 с относительной скоростью 1,5 м/с и КА №2 с относительной скоростью 0,8 м/с (скорость относительно орбитальной ступени). На начальном этапе КА движутся по направляющим шпилькам длиной 0,05 м.

Определить предельные значения линейной скорости КА и ступени после окончания работы толкателей с учетом того, что начальное усилие каждого может отклоняться от номинального расчетного значения на 10%.

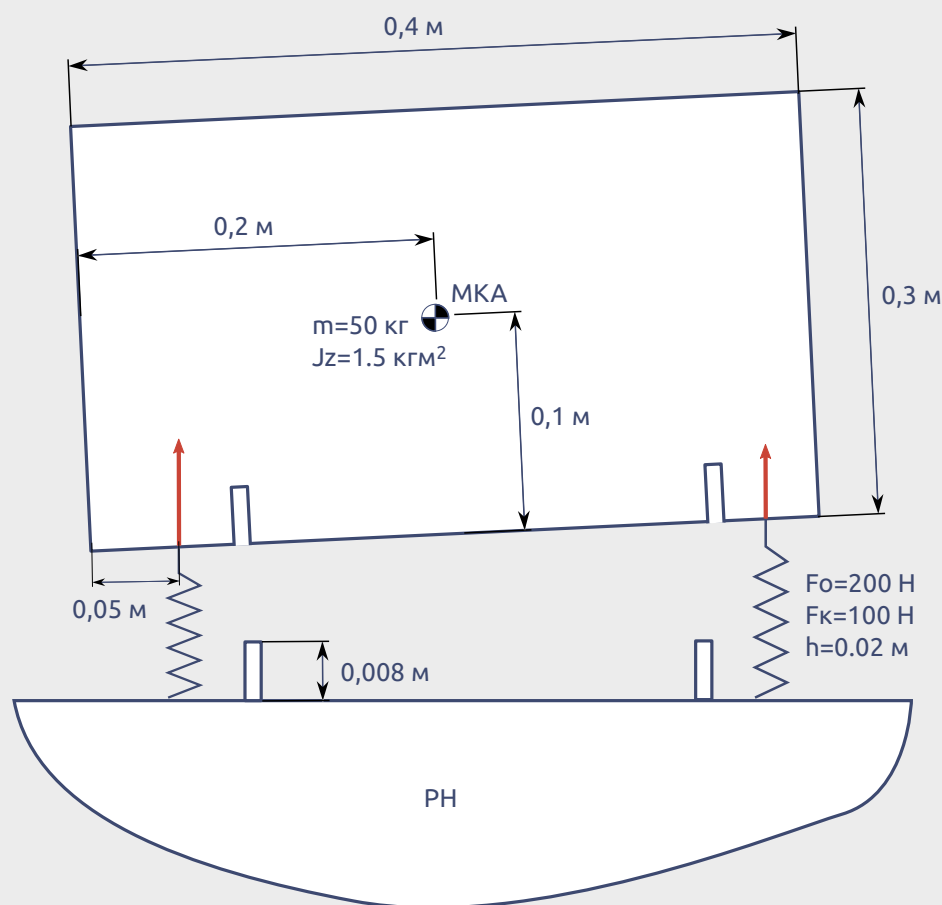
Определить максимальные угловые скорости КА после отделения.

## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Модель MSC.ADAMS
2. Видеоролик, описывающий построение модели (screencast)

## Отделение КА

уровень сложности



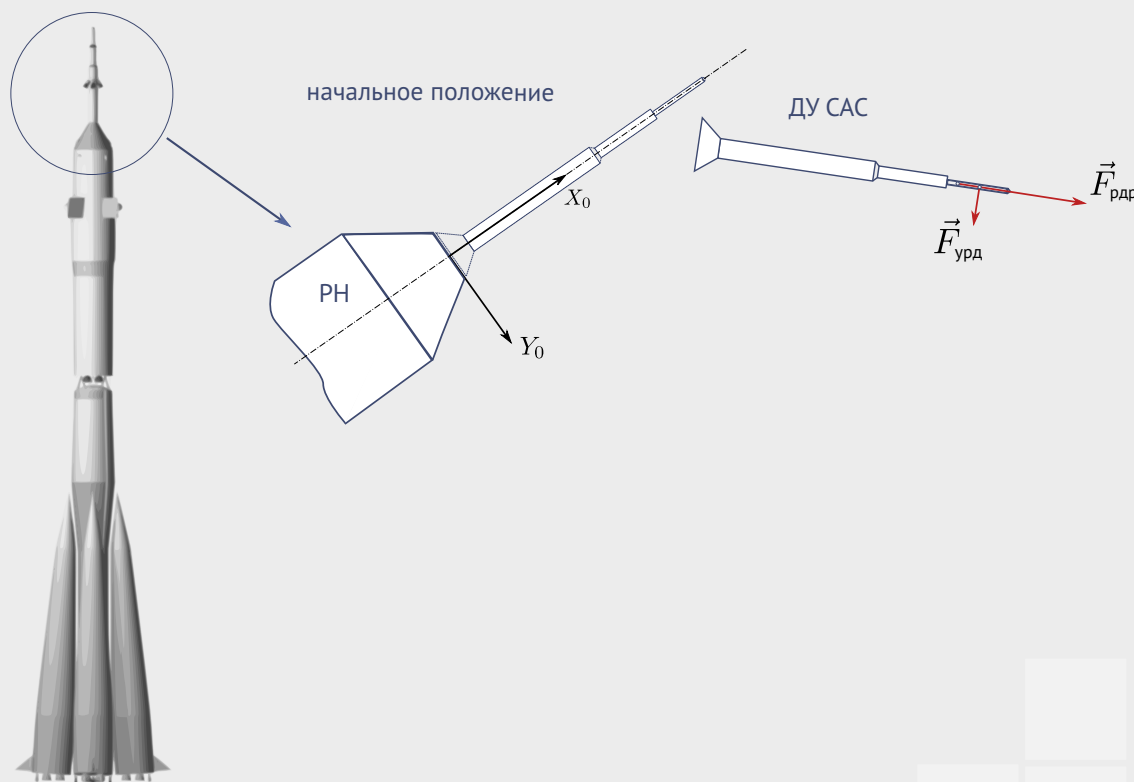
## Задание

Построить модель процесса отделения малого КА. Определить линейные скорости КА после окончания работы толкателей. Определить максимальные угловую скорость КА после отделения с учетом того, что начальное усилие толкателя может отклоняться от номинального значения на 10%.

Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Модель в пакете MSC.ADAMS
2. Модель в пакете MATLAB
3. Видеоролик, описывающий построение модели (screencast)

# Отделение ДУ САС



уровень сложности

## Задание

Построить модель процесса штатного отделения ДУ САС от ракеты-носителя. Исходные данные приведены в таблице 1.

Построить графики изменения относительной скорости ДУ САС (относительно РН), графики изменения положения центра масс ДУ САС относительно начального положения.

## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Модель в пакете MATLAB/OCTAVE
2. Модель в пакете MSC.ADAMS
3. Видеоролик, описывающий построение модели (screencast) в системе MSC.ADAMS

Таблица 1 – Исходные данные расчёта процесса отделения ДУ САС

Параметр	Значение	Закон распределения	Примечание
$S_m, м^2$	1.736	-	
$L_x, м$	6.88	-	
$X_{цт}, м$ $Y_{цт}, м$	$3.35 \pm 0.1$ $0 \pm 0.03$	Равномерный Равномерный	рисунок 1
$X_{урд}, м$ $Y_{урд}, м$	$5.986 \pm 0.02$ 0	Равномерный	рисунок 1
$S_x$	$\pm 20\%$	Равномерный	рисунок 3
$S_y$	$\pm 20\%$	Равномерный	рисунок 4
$S_d$	$\pm 6\%$	Равномерный	рисунок 5
$m, кг$	$2090 \pm 80$	Равномерный	
$J_z, кг м^2$	$8966 \pm 15\%$	Равномерный	
$J_{урд}, Нс$	$5886 \pm 491$	Равномерный	
$J_{рдр}, Нс$	$125568 \pm 7358$	Равномерный	
$F_{урд}, Н$	$5788 \dots 11282$ $3335 \dots 9320$	Равномерный	начальная максимальная тяга
$F_{рдр}, Н$	$122625 \dots$ $255060$	Равномерный	начальная максимальная тяга
Перегрузка $n_y, ед.$	$3.57 \pm 0.10$	Равномерный	
К–г депрессив– ности	$0.7 \dots 1.0$	Равномерный	
$q, Н/м^2$	$4430 \pm 3540$	const	

При анализе процесса отделения ДУ САС принять следующие допущения:

1. массово-инерционные и центровочные характеристики РН и ДУ САС в процессе отделения постоянны;
2. перегрузка и угловая скорость изделия постоянны;
3. скоростной напор в процессе отделения предполагается постоянным;
4. угол атаки РН равен нулю;

Расчет производить в статистической постановке.

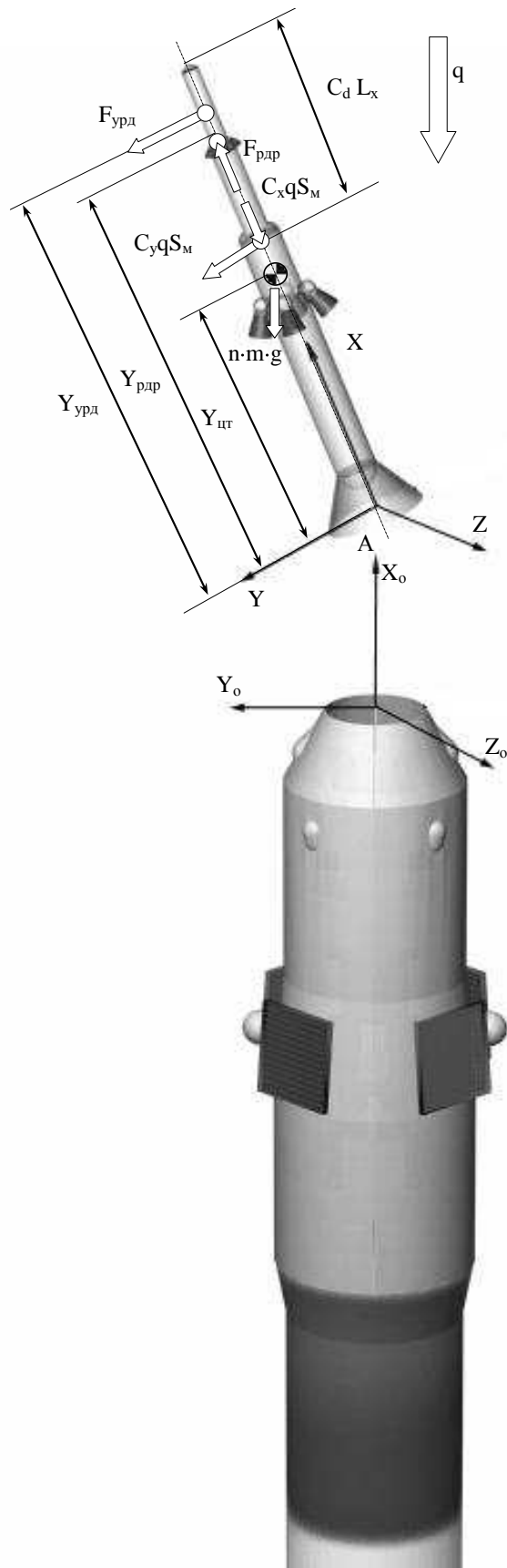


Рисунок 1 – Расчетная схема



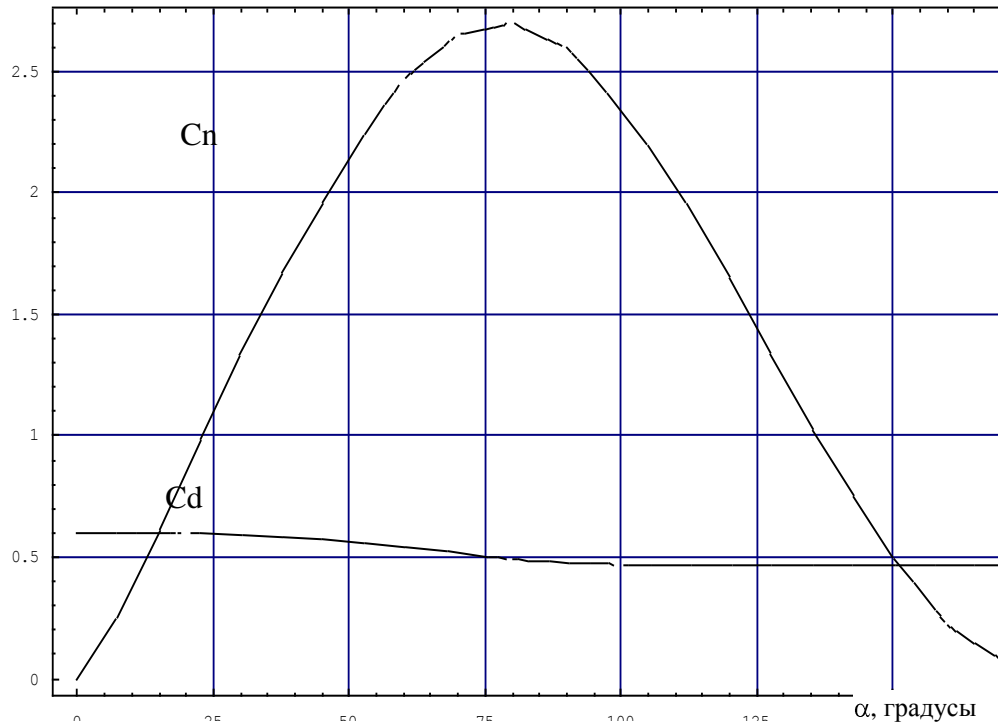


Рисунок 2 – Изменение коэффициента нормальной силы  $C_n$  и коэффициента центра давления  $C_d$  ДУ САС в зависимости от угла атаки ( $C_n$  отнесен к  $S_M=1.736m^2$ ,  $C_d$  к  $L_x=6.88m$ )

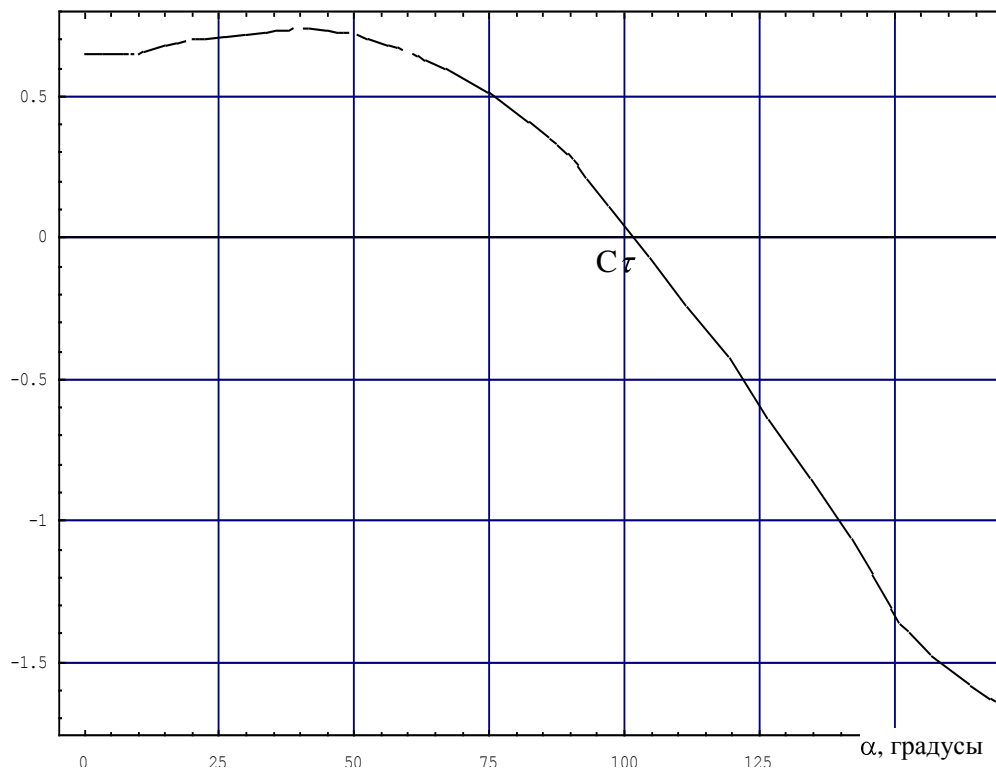
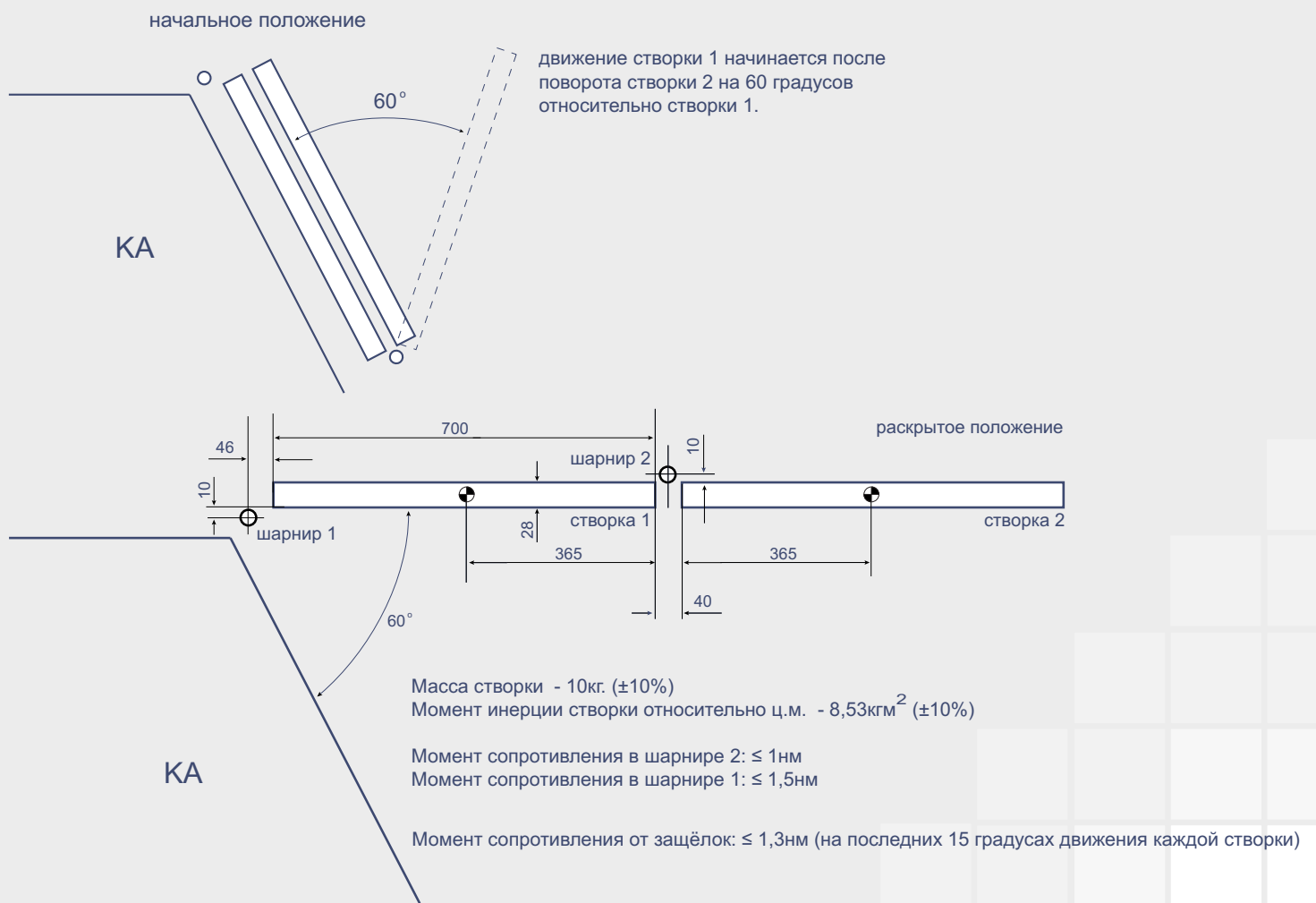


Рисунок 3 – Изменение коэффициента продольной силы ДУ САС в зависимости от угла атаки ( $C_\tau$  отнесен к  $S_M=1.736m^2$ )

# Раскрытие створок БС



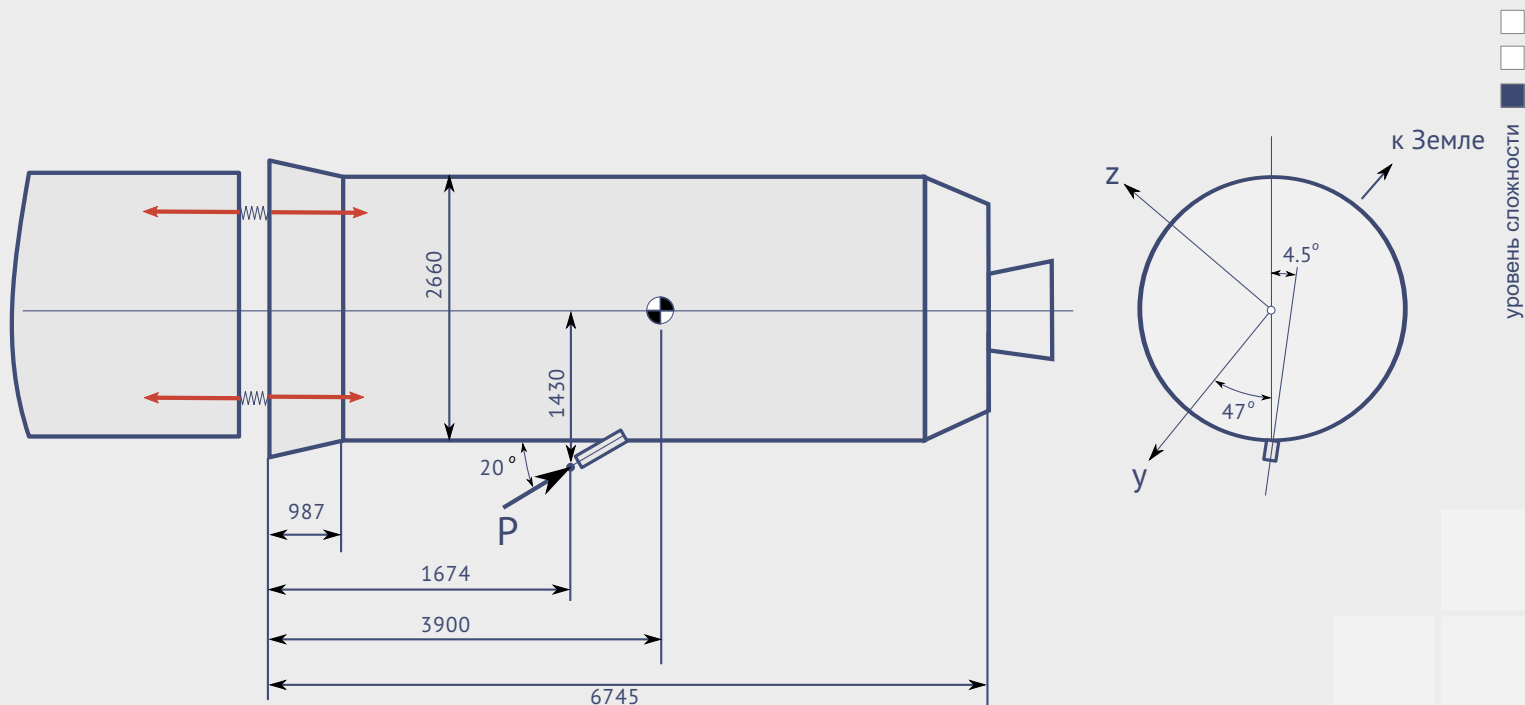
## Задание

Построить модель процесса раскрытия створок солнечной батареи. Определить параметры торсионов (пружин кручения) в шарнирах, обеспечивающих гарантированную фиксацию створок с угловой скоростью не более 1 радиана в секунду за время не более 10 с, с учетом того, что начальный фактический момент торсионов может отклоняться от номинального (расчетного) значения не более чем на 10%.

## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Модель системы в пакете MATLAB
2. Модель системы в пакете MSC.ADAMS
3. Графики углов поворота, угловых скоростей, угловых ускорений створок.
3. Видеоролик, описывающий построение модели в MSC.ADAMS (screencast)

# Отделение КА от РН



уровень сложности

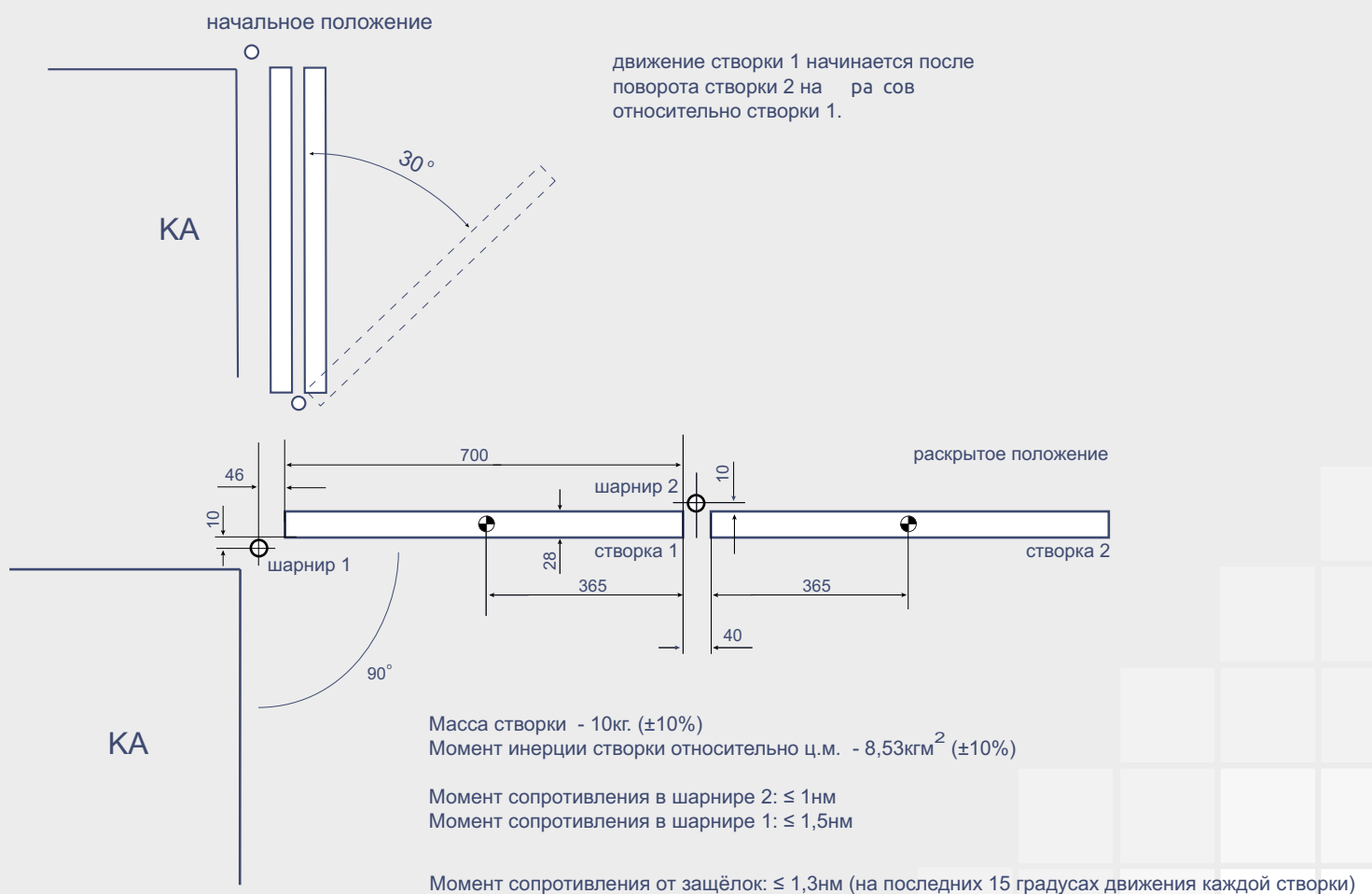
## Задание

1. Построить модель отделения КА от орбитальной ступени РН. Отделение КА от РН производится при помощи четырех толкателей. Начальное усилие толкателя 2т, конечное усилие 0,5т, ход толкателя 0,25м. На начальном этапе КА относительно РН движется по направляющим шпилькам длиной 0,005 м. Через 0,7 с после разделения КА и РН открывается реактивное сопло увода Р. Начальное усилие тяги сопла увода 3500 Н. Тяга сопла увода уменьшается до нуля в течении 50 секунд по линейному закону.
2. Определить линейную скорость КА относительно РН, угловую скорость КА после отделения и окончания работы реактивного сопла.
3. Определить относительное положение КА и РН после окончания работы реактивного сопла.
4. Построить графики изменения проекций угловой скорости орбитальной ступени на оси связанной системы координат.

## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Модель системы в пакете MATLAB
2. Модель системы в пакете MSC.ADAMS
3. Графики углов поворота, угловых скоростей, угловых ускорений створок.
4. Видеоролик, описывающий построение модели в MSC.ADAMS (screencast)

# Раскрытие створок БС



## Задание

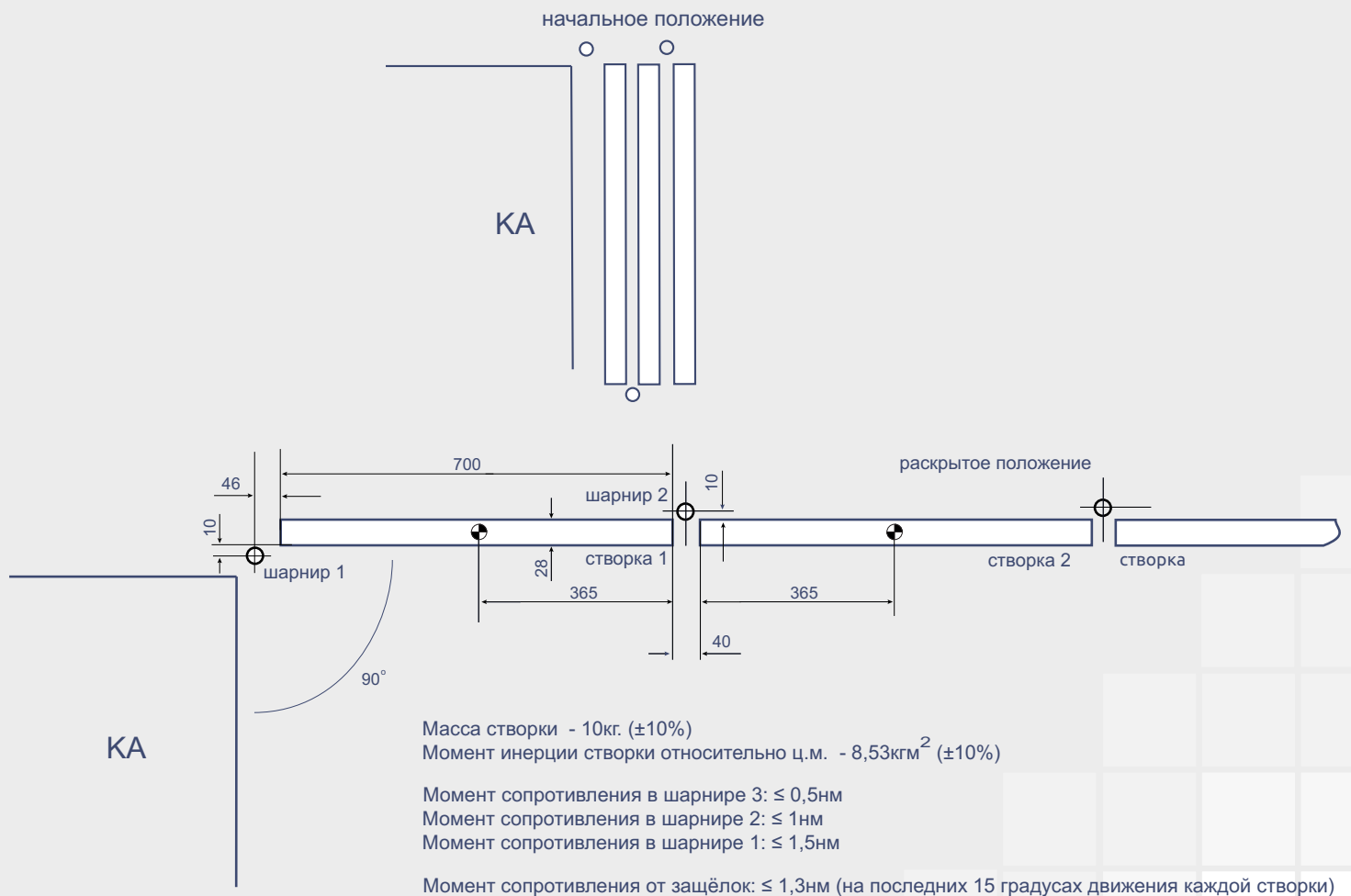
Построить модель процесса раскрытия створок солнечной батареи.

Определить параметры торсионов (пружин кручения) в шарнирах, обеспечивающих гарантированную фиксацию створок с угловой скоростью не более 1 радиана в секунду за время не более 10 с, с учетом того, что начальный фактический момент торсионов может отклоняться от номинального (расчетного) значения не более чем на 10%.

## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Модель системы в пакете MATLAB
2. Модель системы в пакете MSC.ADAMS
3. Графики углов поворота, угловых скоростей, угловых ускорений створок.
3. Видеоролик, описывающий построение модели в MSC.ADAMS (screencast)

# Раскрытие створок БС



## Задание

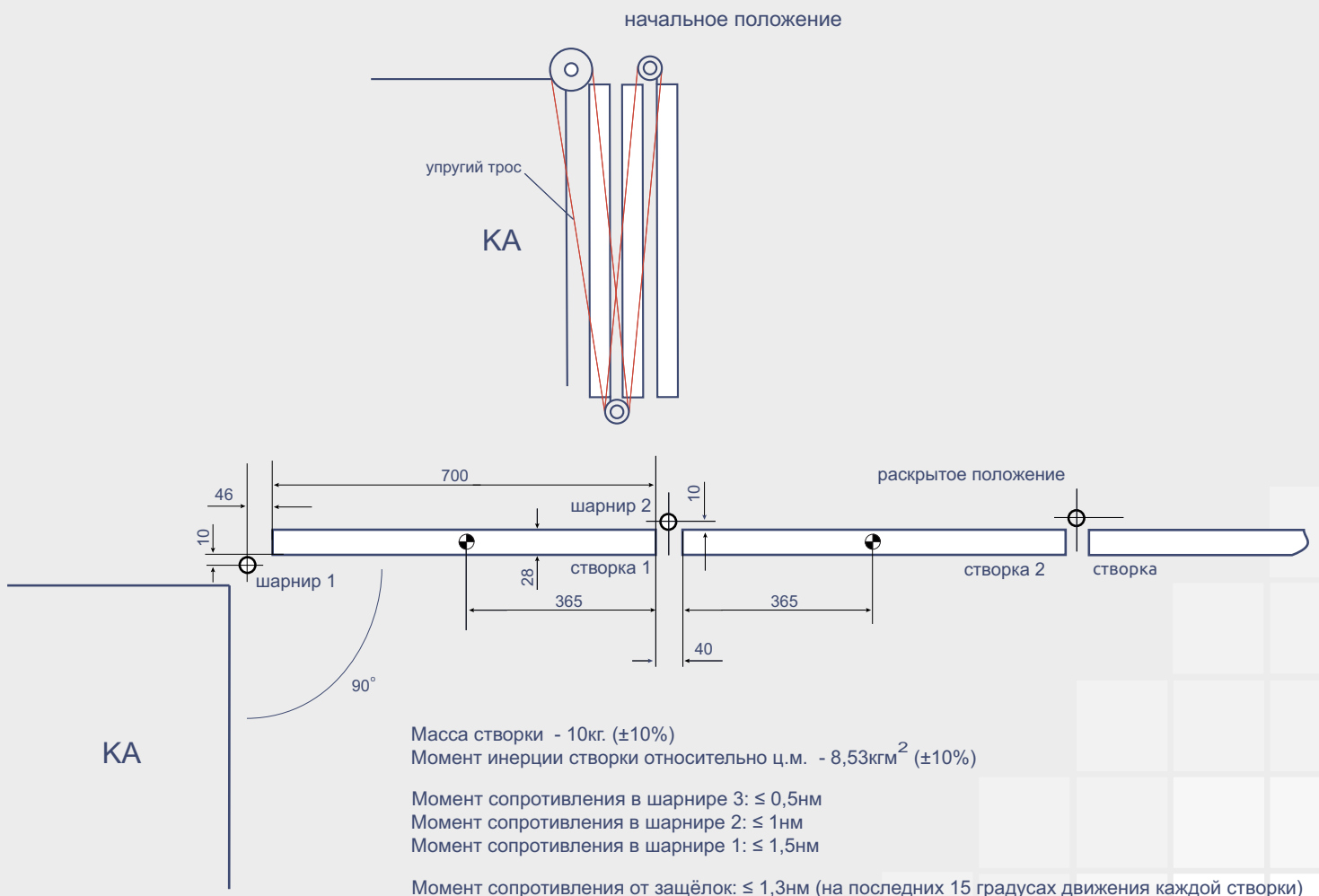
Построить модель процесса раскрытия створок солнечной батареи.

Определить параметры торсионов (пружин кручения) в шарнирах, обеспечивающих гарантированную фиксацию створок с угловой скоростью не более 1 радиана в секунду за время не более 10 с, с учетом того, что начальный фактический момент торсионов может отклоняться от номинального (расчетного) значения не более чем на 10%.

## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Модель системы в пакете MATLAB
2. Модель системы в пакете MSC.ADAMS
3. Графики углов поворота, угловых скоростей, угловых ускорений створок.
3. Видеоролик, описывающий построение модели в MSC.ADAMS (screencast)

# Раскрытие створок БС



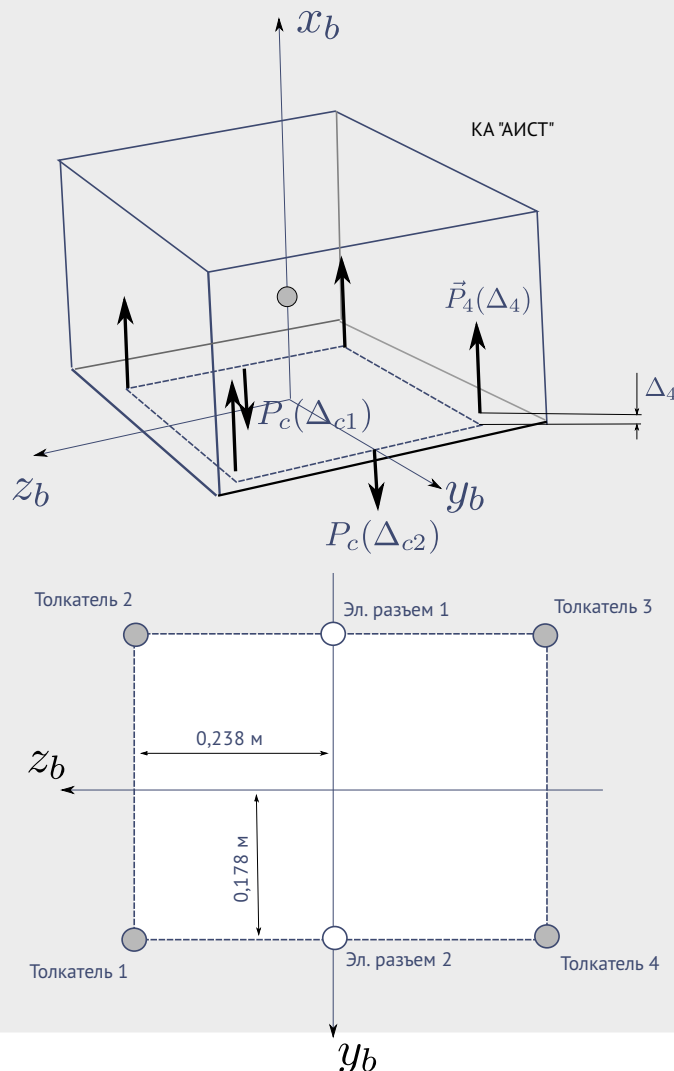
## Задание

Построить модель процесса раскрытия створок солнечной батареи с тросовой системой синхронизации. Определить параметры торсионов (пружин кручения) в шарнирах, обеспечивающих гарантированную фиксацию створок с угловой скоростью не более 1 радиана в секунду за время не более 10 с, с учетом того, что начальный фактический момент торсионов может отклоняться от номинального (расчетного) значения не более чем на 10%.

## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Модель системы в пакете MATLAB
2. Графики углов поворота, угловых скоростей, угловых ускорений створок.
3. Видеоролик, описывающий построение модели в MSC.ADAMS (screencast)

# Отделение МКА



КА "АИСТ" отделяется от КА "Бийон" под действием четырех толкателей.

Начальное усилие толкателя 200Н

Конечное усилие 100Н

Ход толкателя 0,02м.

Положение центра масс КА относительно системы

$X_b Y_b Z_b$

$X_b=0.142$

$Y_b=0.015$

$Z_b=0.00$

Масса КА - 53 кг.

Моменты инерции относительно главных

центральных осей (направления совпадают с направлениями соответствующих осей  $X_b Y_b Z_b$ )

$J_x=2.15$  кгм

$J_y=1.19$  кгм

$J_z=1.85$  кгм

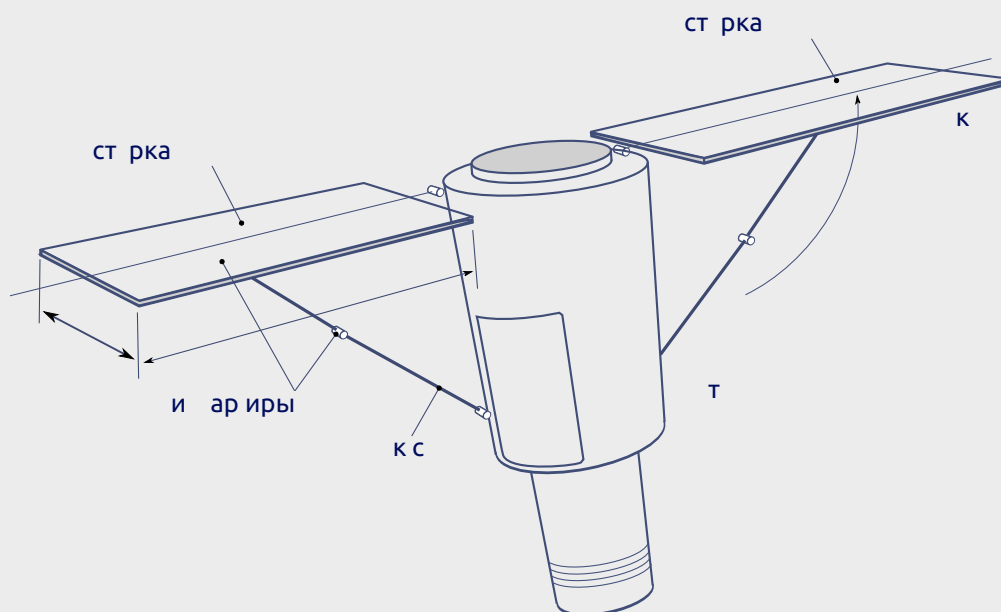
## Задание

Построить модель отделения КА. Определить проекции угловой скорости КА на собственные оси после окончания работы всех толкателей. Учесть, что начальное усилие толкателей имеет "разброс" 5% в большую и меньшую стороны.

## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Модель системы в пакете MATLAB
2. Модель, графики изменения проекций угловых скоростей для наихудшего случая (максимальные модули угловых скоростей).
3. Видеоролик, описывающий построение модели в MSC.ADAMS (screencast)

# Раскрытие С



## Задание

1. Подготовить реферат, содержащий обзор открытых источников, о космических аппаратах дистанционного зондирования Земли.
2. Построить модель процесса раскрытия створок КА.
3. Подобрать параметры пружинных приводов (торсионов) обеспечивающих гарантированное раскрытие створок с угловой скоростью не более 1 рад/с. Момент сопротивления в шарнирах створок не превышает 2 Нм. Оценить влияние угловой скорости КА (до 2 град/с вокруг поперечных осей КА) на процесс раскрытия створок.
4. Определить наилучшее расположение фиксирующего элемента (защелки): шарнир створки, шарнир подкоса.

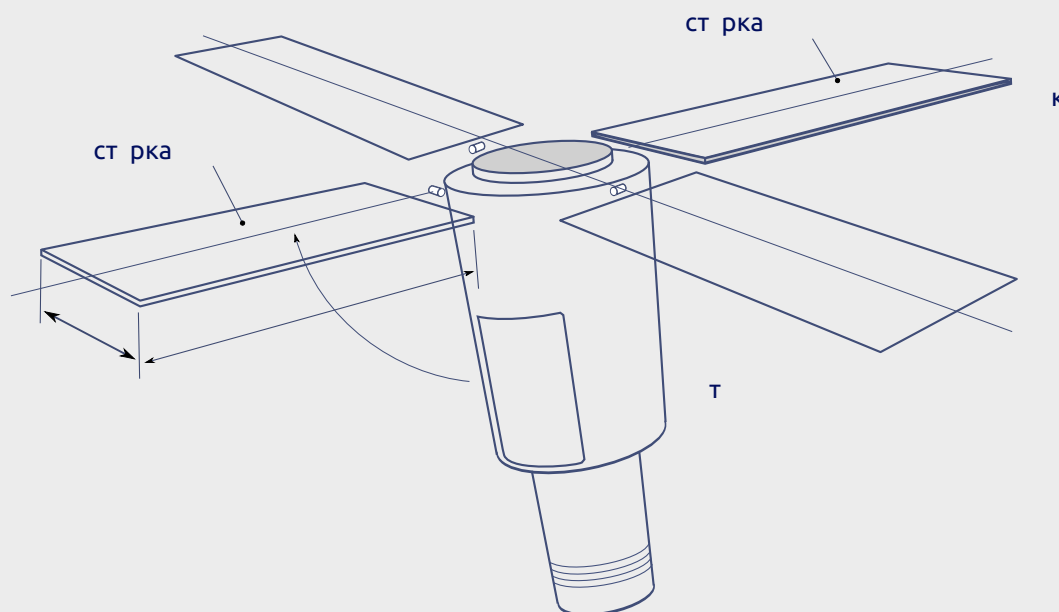
## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Реферат в формате pdf
2. Модель MSC.ADAMS
3. Видеоролик, описывающий построение модели (screencast)



# Раскрытие С

уровень сложности



## Задание

1. Подготовить реферат, содержащий обзор открытых источников, о космических аппаратах дистанционного зондирования Земли.
2. Построить модель процесса раскрытия створок КА.
3. Подобрать параметры пружинных приводов (торсионов) обеспечивающих гарантированное раскрытие створок с угловой скоростью не более 1 рад/с. Момент сопротивления в шарнирах створок не превышает 2 Нм. Оценить влияние угловой скорости КА (до 2 град/с вокруг поперечных осей КА) на процесс раскрытия створок.

## Отчётные материалы (в электронном виде)

1. Реферат в формате pdf
2. Модель MSC.ADAMS
3. Видеоролик, описывающий построение модели (screencast)

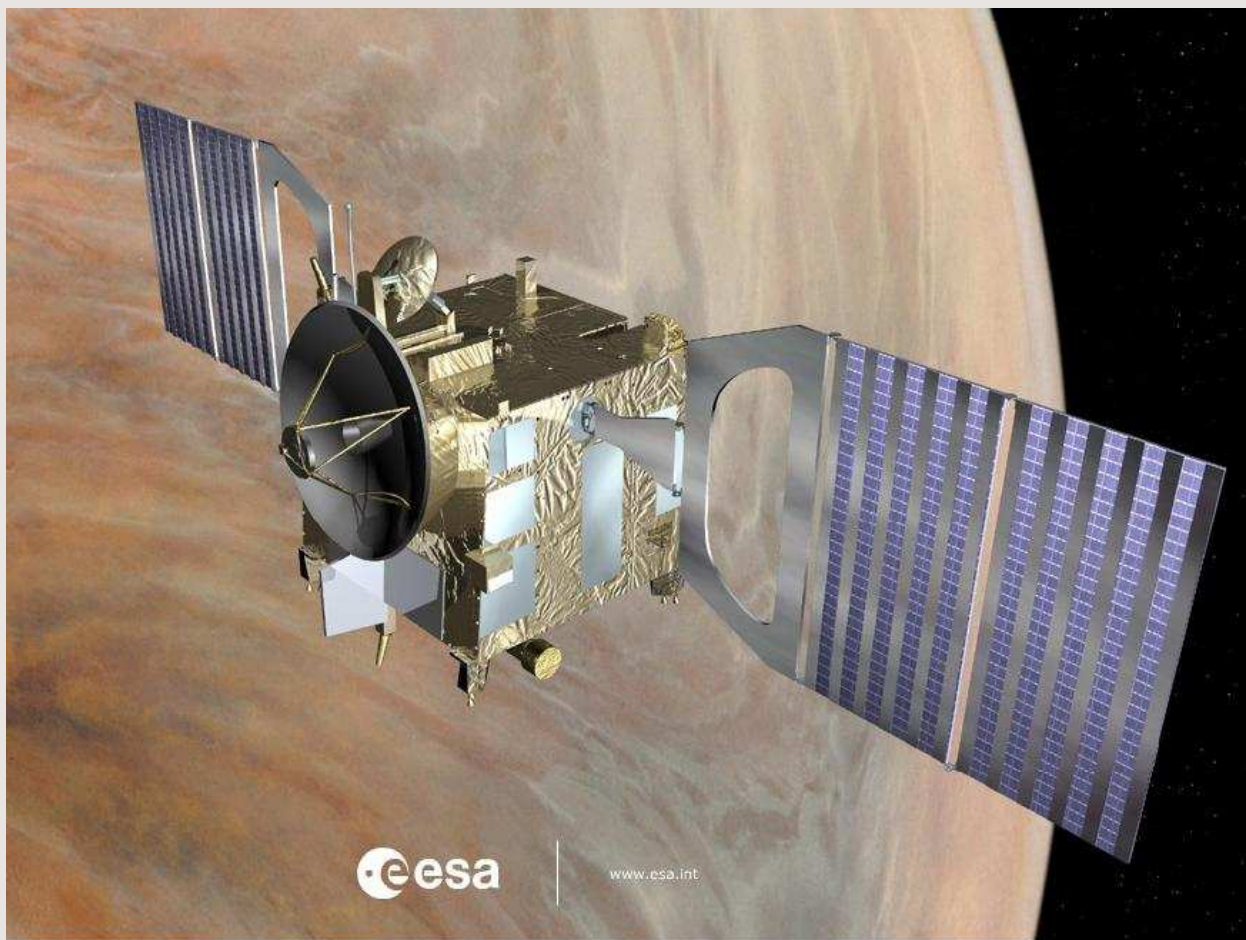
# Пример построения модели раскрытия створок солнечной батареи космического аппарата «Венера-экспресс»

---

## Содержание

1. Внешний вид и чертежи спутника Venus Express.....	3
2. Создание главного тела и детализации.....	7
3. Создание солнечных батарей.....	15
4. Создание механизма раскрытия .....	20

## 1. Внешний вид и чертежи спутника Venus Express



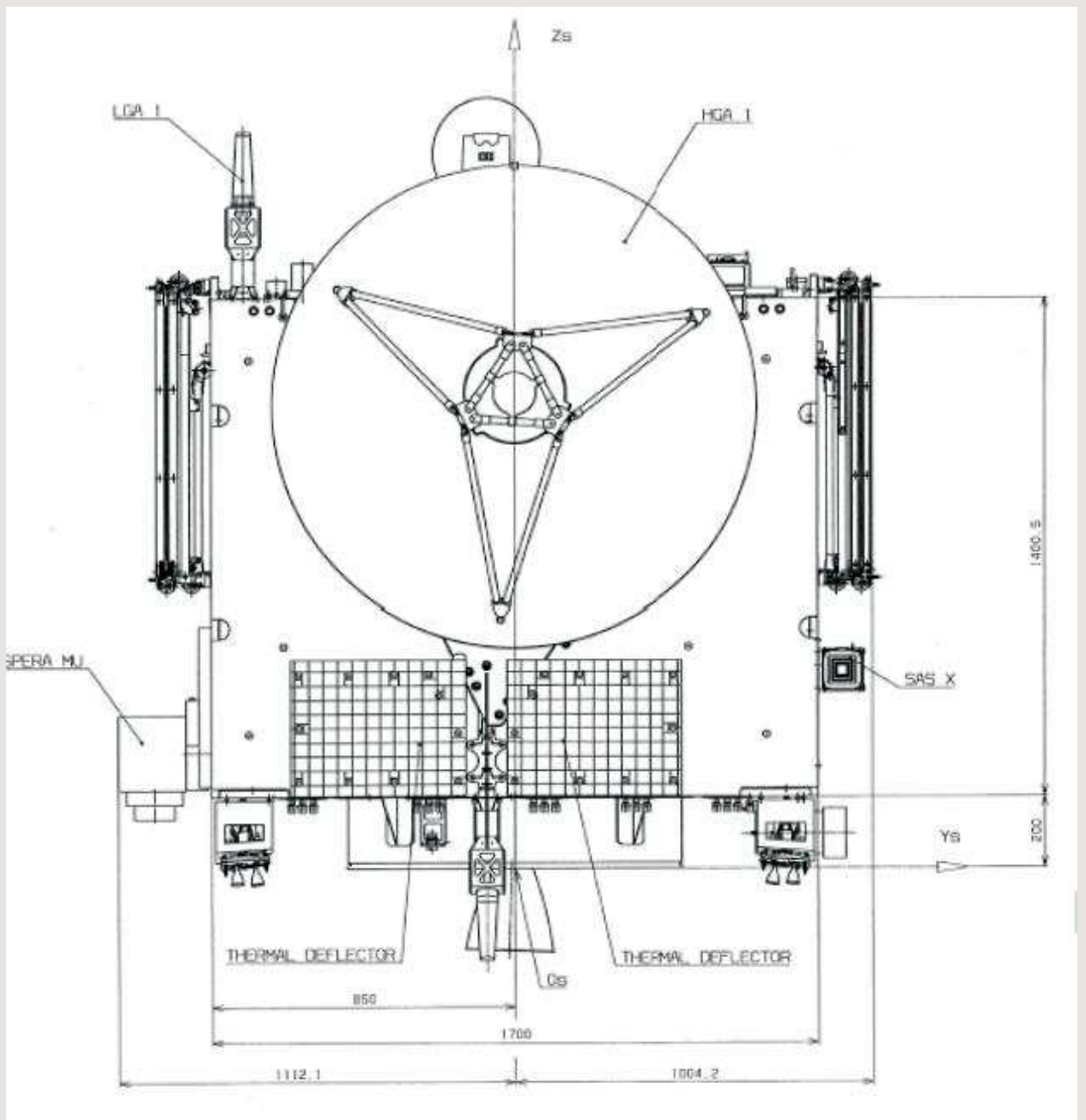


Рисунок 1.1 – Чертеж I Venus Express

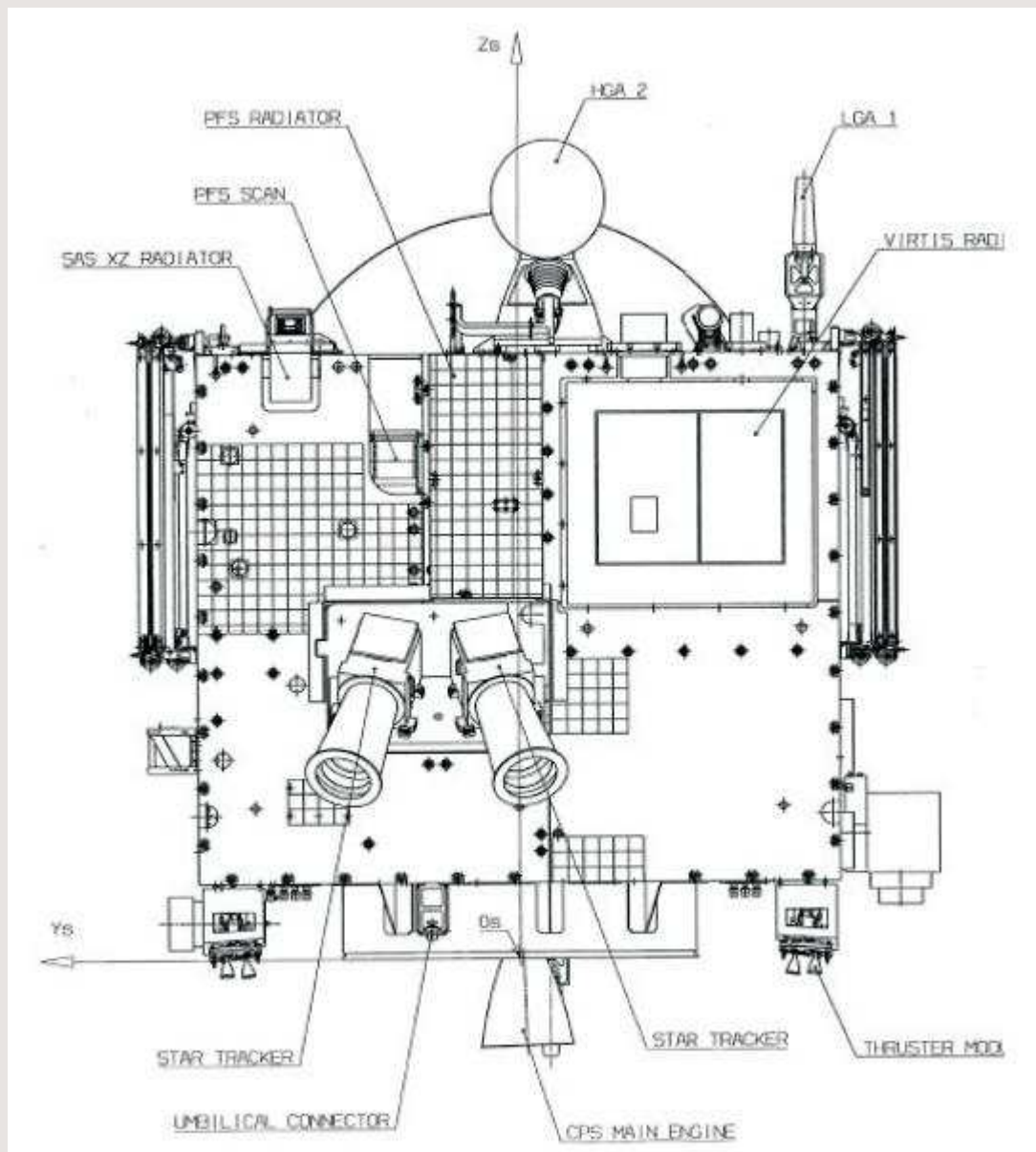


Рисунок 1.2 – Чертеж II Venus Express

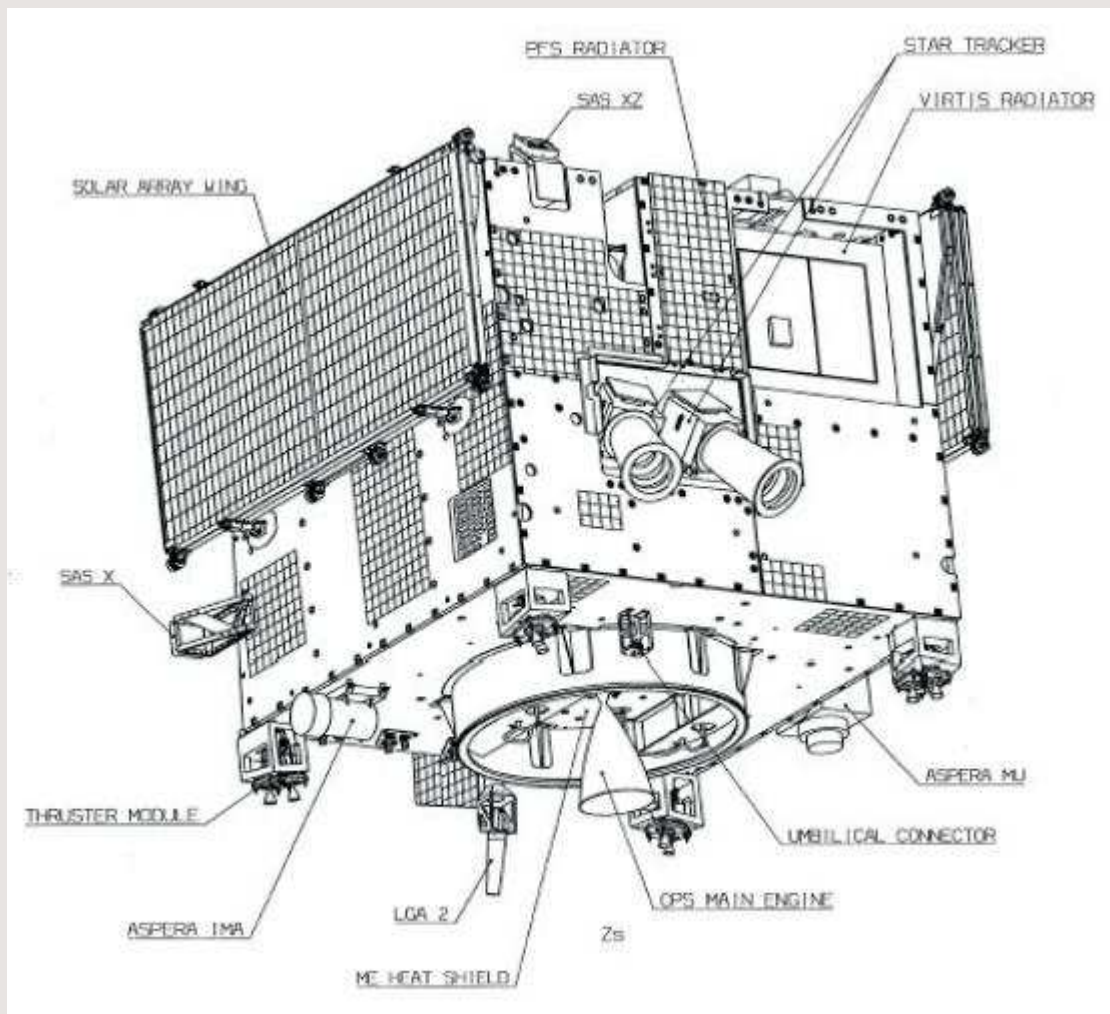


Рисунок 1.3 – Чертеж III Venus Express



## 2. Создание главного тела и детализации

Предварительно, по чертежам (рисунки 1.1, 1.2, 1.3), необходимо составить таблицу, в которой будут записаны координаты всех опорных точек, от которых будет производиться построение элементов входящих в модель. После заполнения таблицы, перейдем непосредственно к построению модели. Построим корпус КА со всей детализацией.

1. Запускаем ADAMS-View.
2. В появившемся окне (рисунок 2.1) выполняем следующие действия:
  - На панели «How would you like to proceed?» устанавливаем переключатель в положение «Create a new model» для создания новой модели.
  - В поле ввода «Start in» указываем путь, по которому будут располагаться файлы модели.
  - В поле ввода «Model name» помещаем название модели (Venus\_Express).
  - В выпадающем списке «Gravity» выбираем «No Gravity», т.к. сила тяжести отсутствует.
  - В выпадающем списке «Units» выбираем «MKS», что соответствует единицам измерения системы СИ.
  - Нажимаем кнопку «ОК».



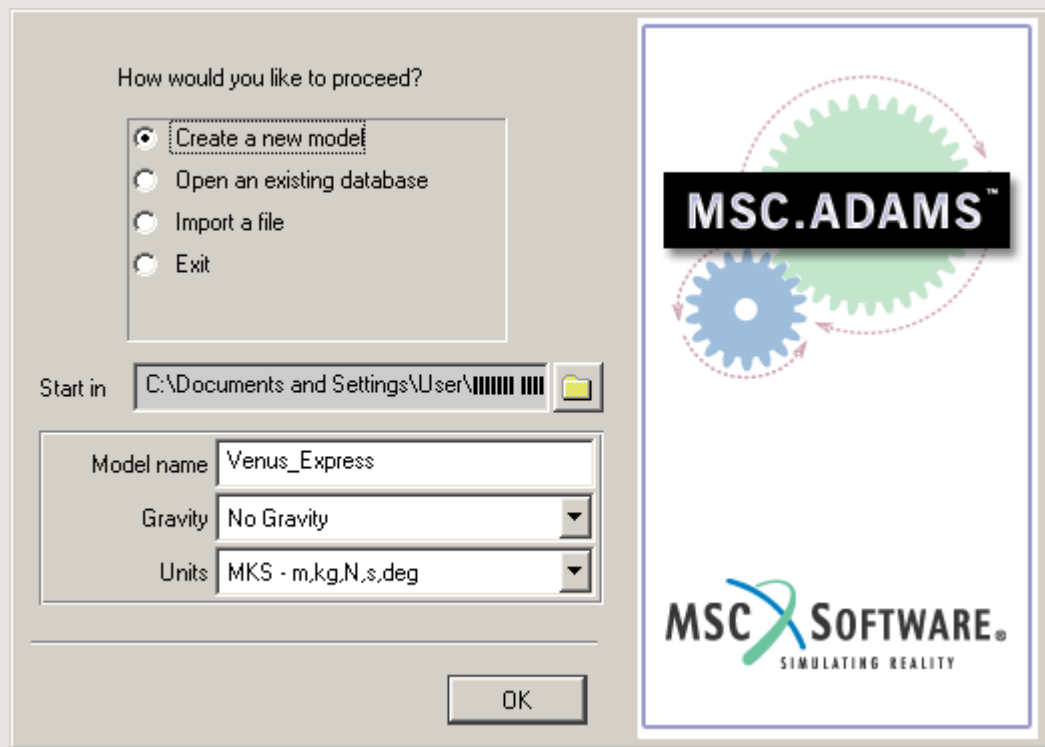


Рисунок 2.1 – Стартовое окно

3. Открываем панель инструментов «Geometric Modeling» (рисунок 2.2). Для этого в главном меню выбираем «Build», а в выпавшем меню выбираем «Bodies/Geometry»

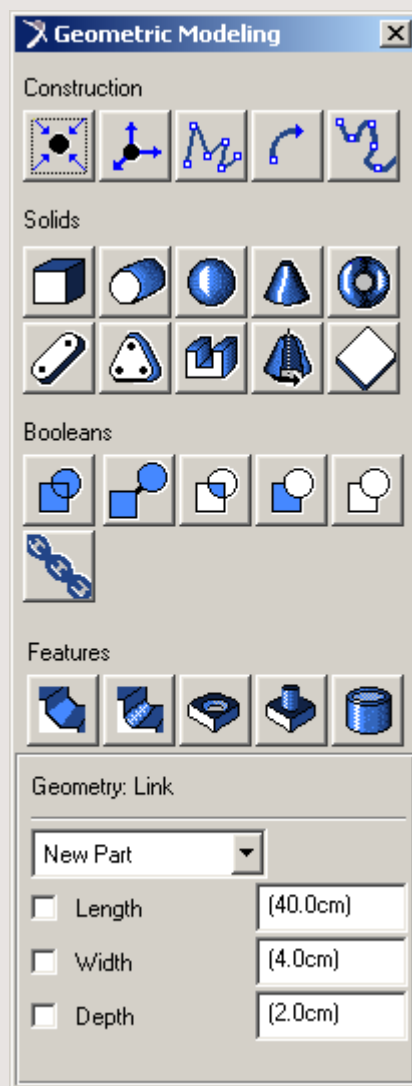


Рисунок 2.2 – Панель инструментов «Geometric Modeling»

4. Создаем в модели все необходимые опорные точки. Для этого выполняем следующие действия:
- На панели инструментов «Geometric Modeling» щелкаем в группе «Construction» на инструмент «Point».
  - Щелкаем левой кнопкой мыши в рабочем поле модели, что приводит к созданию точки.
  - Создаем необходимое количество точек, после чего в нижней части панели «Geometric Modeling» в группе «Geometry: Point» нажимаем на кнопку «Point Table» (рисунок 2.3), что приводит к появлению окна «Table Editor for Points» (рисунок 2.4).
  - В появившемся окне заносим в таблицу координаты.

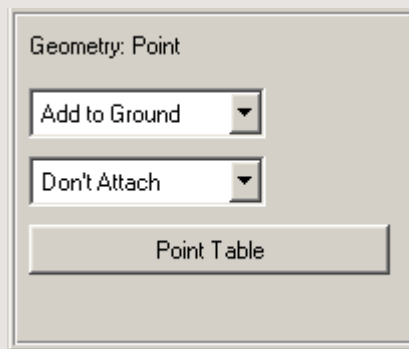


Рисунок 2.3 - «Geometry: Point»

	Loc_X	Loc_Y	Loc_Z
POINT_2	0.0	-2.0E-002	0.0
POINT_2_2	0.155	-2.0E-002	0.0
POINT_5	0.0	-2.0E-002	0.135
POINT_6	0.155	-2.0E-002	0.135
POINT_7	8.5E-002	0.0	7.5E-002
POINT_11	-2.5E-002	0.0	9.0E-002
POINT_12	8.5E-002	9.5E-002	0.15
POINT_15	0.12	5.0E-002	0.0
POINT_18	0.11	6.0E-002	2.5E-002
POINT_17	8.5E-002	6.0E-002	2.5E-002
POINT_19	5.0E-002	0.14	0.135
POINT_21	6.5E-002	0.165	0.135

Рисунок 2.4 – Окно «Table Editor for Points»

После того как созданы все точки, переходим к созданию фигур, из которых состоит модель.

5. Для создания параллелепипедов (корпус, thrusted modules и т.д.) выполняем следующие действия:
  - На панели инструментов «Geometric Modeling» щелкаем в группе «Solids» на инструмент «Box».
  - В нижней части панели «Geometric Modeling» в группе «Geometry: Box» выставляем галочки у полей «Length», «Height», «Depth» (длина, высота, глубина), а в полях ввода указываем

соответствующие размеры (рисунок 2.5). Это позволит создать параллелепипед с заданными размерами.

- В рабочем поле модели наводим указатель мыши на опорную точку, соответствующую левому нижнему дальнему углу параллелепипеда (при приближении к точке сработает автоматическая привязка) и щелкаем левой кнопкой мыши. В результате создается параллелепипед.
- Повторяем описанную последовательность для всех параллелепипедов.

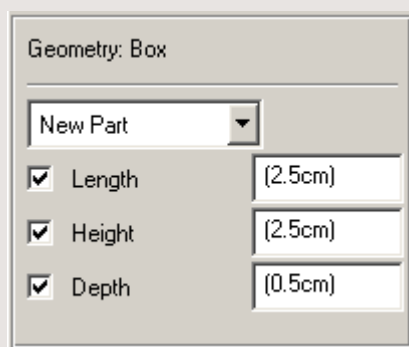


Рисунок 2.5 - «Geometry: Box»

6. Для создания цилиндров выполняем следующие действия:

- Размещаем рабочую сетку таким образом, что ось цилиндра лежит в плоскости рабочей сетки. Для этого в главном меню выбираем пункт «Settings», а в выпавшем меню выбираем «Working Grid», в результате чего появляется окно «Working Grid Settings» (рисунок 2.6). В выпадающем списке «Set Location» выбираем пункт «Pick» и на рабочем поле модели указываем центральную точку для сетки (в качестве центральной выбираем опорную точку для соответствующего цилиндра). В выпадающем списке «Set Orientation» выбираем необходимую ориентацию.
- На панели инструментов «Geometric Modeling» щелкаем в группе «Solids» на инструмент «Cylinder».
- В нижней части панели «Geometric Modeling» в группе «Geometry: Cylinder» выставляем галочки у полей «Length» и «Radius» (длина, радиус), а в полях ввода указываем соответствующие размеры (рисунок 2.7). Это позволит создать цилиндр с заданными размерами.
- В рабочем поле модели наводим указатель мыши на опорную точку, соответствующую центру нижнего основания цилиндра (при

приближении к точке сработает автоматическая привязка) и щелкаем левой кнопкой мыши. Затем, указанием второй точки, определяем ориентацию цилиндра и щелкаем левую кнопку мыши. В результате создается цилиндр.

- Повторяем описанную последовательность для всех цилиндров.

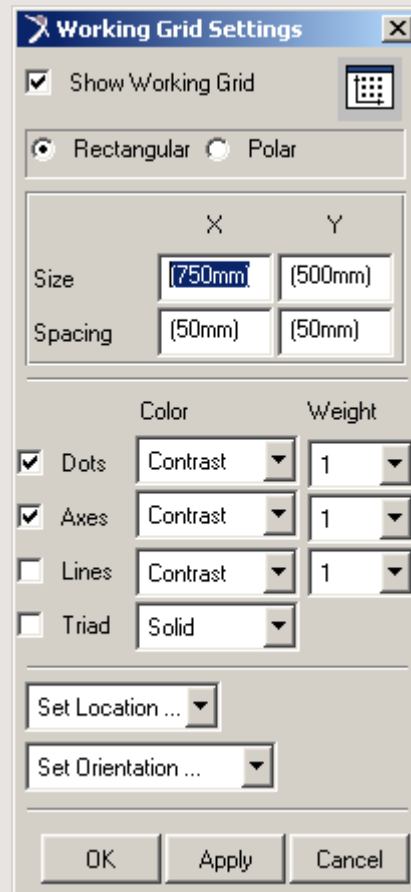


Рисунок 2.6 – Окно «Working Grid Settings»

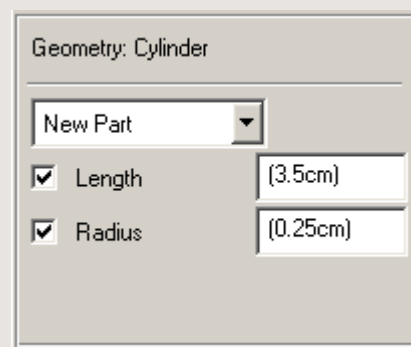


Рисунок 2.7 - «Geometry: Cylinder»

7. Для создания конусов (в том числе усеченных) (НСА1, НСА2, СРС Main Engine, Star Tracers) выполняем следующие действия:
- Аналогично пункту 6 размещаем рабочую сетку таким образом, что ось конуса лежит в плоскости рабочей сетки.
  - На панели инструментов «Geometric Modeling» щелкаем в группе «Solids» на инструмент «Frustum».
  - В нижней части панели «Geometric Modeling» в группе «Geometry: Frustum» выставляем галочки у полей «Length», «Bottom Radius» и «Top Radius» (длина, нижний радиус, верхний радиус), а в полях ввода указываем соответствующие размеры (рисунок 2.8). Это позволит создать конус с заданными размерами.
  - В рабочем поле модели наводим указатель мыши на опорную точку, соответствующую центру нижнего основания конуса (при приближении к точке сработает автоматическая привязка) и щелкаем левой кнопкой мыши. Затем, указанием второй точки, определяем ориентацию конуса и щелкаем левую кнопку мыши. В результате создается конус.
  - Повторяем описанную последовательность для всех конусов.

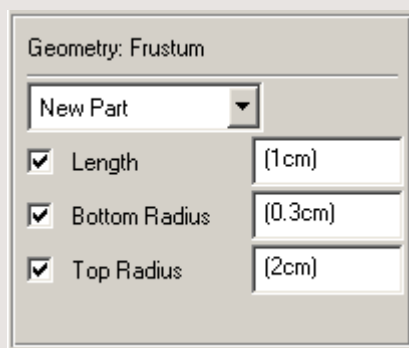


Рисунок 2.8 – «Geometry: Frustum»

Для имитации тонкостенных деталей и выемок в созданных фигурах необходимо сделать отверстия.

8. Для создания цилиндрических отверстий в фигурах выполняем следующие действия:
- На панели инструментов «Geometric Modeling» щелкаем в группе «Features» на инструмент «Add a hole».
  - В нижней части панели «Geometric Modeling» в группе «Feature: Hole» выставляем галочку у поля «Depth» (глубина), в полях ввода

«Radius» и «Depth» (радиус, глубина) указываем соответствующие размеры (рисунок 2.9). Это позволит создать отверстие с заданными размерами.

- В рабочем поле модели наводим указатель мыши на фигуру, в которой необходимо создать отверстие, и щелкаем левую кнопку мыши или, если фигура перекрыта другими фигурами, правую (в этом случае нужную фигуру надо выбрать из списка (рисунок 2.10)).
- С помощью мыши выбираем грань (при указании грани срабатывает автоматическая привязка), в которой нужно сделать отверстие, и положение отверстия. Нажимаем левую кнопку мыши, в результате чего создается отверстие.
- Повторяем описанную последовательность для всех цилиндрических отверстий.

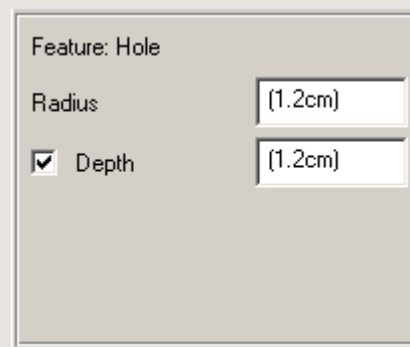
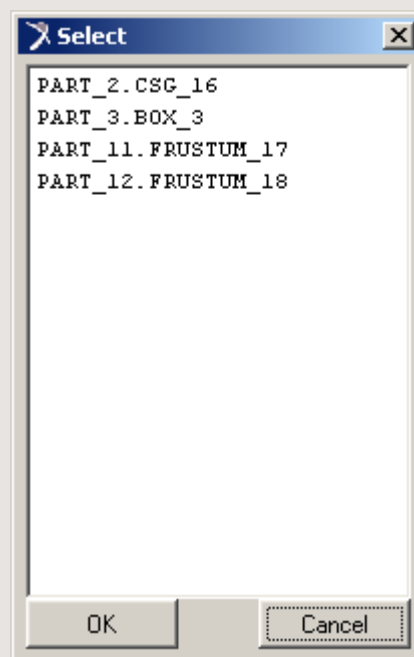


Рисунок 2.9 – «Feature: Hole»



## Рисунок 2.10 – Окно «Select»

9. Для создания отверстий произвольной формы, воспользуемся процедурой вырезания из одного тела другого тела. Для этого выполняем следующие действия:
  - Создаем на месте, где должно быть отверстие, фигуру, повторяющую по форме необходимое отверстие (см. пункты 5-7).
  - На панели инструментов «Geometric Modeling» щелкаем в группе «Booleans» на инструмент «Cut out a solid with another».
  - В рабочем поле модели щелкаем сначала на теле, из которого необходимо вырезать, а потом на теле, которое надо вырезать (если тела перекрываются, то используем правую кнопку мыши). В результате этого создается отверстие (выемка) заданной формы.
  - Повторяем описанную последовательность для всех отверстий произвольной формы.
  
10. Далее все созданные части необходимо объединить в одно тело. Для этого необходимо:
  - На панели инструментов «Geometric Modeling» щелкаем в группе «Booleans» на инструмент «Merge two bodies».
  - Щелкаем на тело, которое нужно присоединить.
  - Щелкаем на тело, к которому нужно присоединить.
  - Повторяем описанную процедуру, пока все части не станут одним телом.

### 3. Создание солнечных батарей

Перейдем к созданию солнечных батарей. Добавим к модели необходимый для построения набор опорных точек (аналогично пункту 2.4).

1. Рамы и панели солнечных батарей представляют собой пластины. Для создания пластины необходимо выполнить следующие действия:
  - На панели инструментов «Geometric Modeling» щелкаем в группе «Solids» на инструмент «Plate».
  - В нижней части панели «Geometric Modeling» в группе «Geometry: Plate» в полях ввода «Thickness» и «Radius» (толщина, радиус скруглений) указываем соответствующие размеры (рисунок 3.1). Это позволит создать пластину с заданными параметрами.



- Указывая в рабочем поле модели точки, строим ломаную, которая задает контуры пластины.
- Далее нажимаем правую кнопку мыши, что приводит к построению пластины.
- Повторяем описанную последовательность для всех пластин.

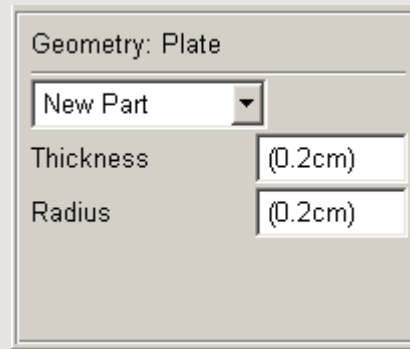


Рисунок 3.1 – «Geometry: Plate»

Далее солнечные батареи, рамы и КА необходимо связать друг с другом с помощью шарниров. В нашем случае шарниры цилиндрические. Открываем панель инструментов «Joints» (рисунок 3.2). Для создания шарниров в главном меню выбираем «Build», а в выпавшем меню выбираем «Joints».

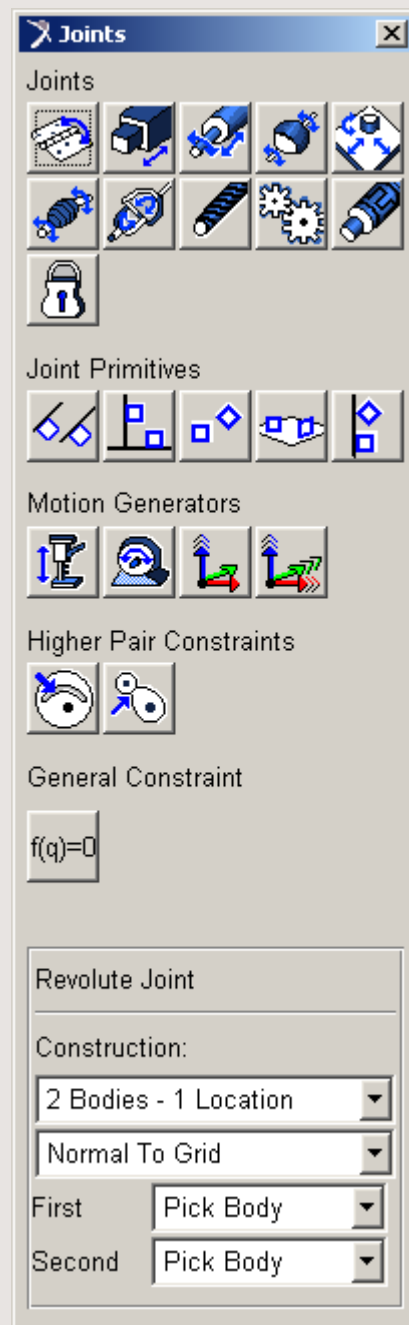


Рисунок 3.2 – Панель инструментов «Joints»

2. Для создания цилиндрических шарниров необходимо выполнить следующие действия:
  - На панели инструментов «Joints» щелкаем в группе «Joints» на инструмент «Revolute».
  - В рабочем поле модели указываем два тела, которые необходимо соединить шарниром (если тела перекрывают друг друга, то используем правую кнопку мыши).

- Указываем точку, в которой будет расположен шарнир, в результате чего появиться шарнир.
  - Повторяем описанную последовательность для всех шарниров.
3. В случае если ось шарнира ориентирована неправильно, то выполняем следующие действия:
- В рабочем поле модели щелкаем правой кнопкой мыши на необходимый шарнир.
  - В появившемся меню находим нужный шарнир и в выпавшем меню выбираем «Modify», в результате чего появляется окно «Modify Joint» (рисунок 3.3).
  - На панели инструментов «Joints» щелкаем в группе «Joints» на инструмент «Revolute».
  - В открывшемся окне нажимаем кнопку «Change position», в результате чего появляется окно «Precision Move» (рисунок 3.4)
  - В открывшемся окне, используя группу кнопок «Rotate», меняем ориентацию оси шарнира и нажимаем кнопку «ОК».
  - Повторяем описанную последовательность для всех неправильно ориентированных шарниров.

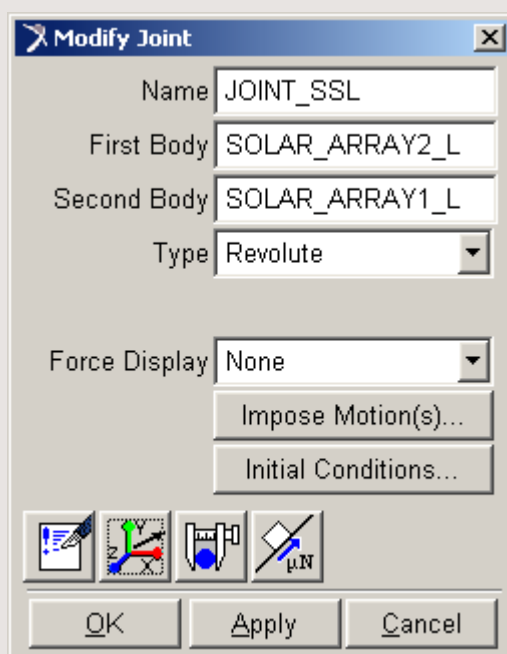


Рисунок 3.3 – Окно «Modify Joint»

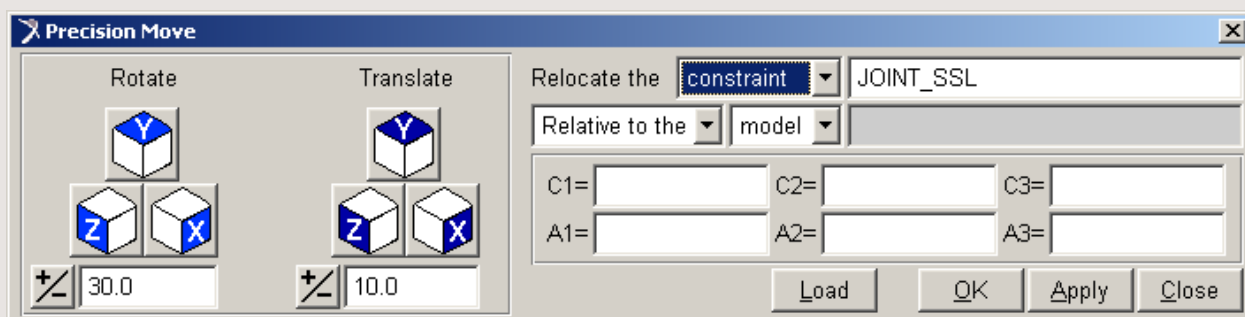


Рисунок 3.4 – Окно «Precision Move»

Для того чтобы в начальный момент времени панели солнечных батарей и рамы были зафиксированы, добавим к модели помимо цилиндрических шарниров жесткие заделки, которые будут деактивированы в нужный момент.

4. Для создания жестких заделок необходимо выполнить следующие действия:
  - На панели инструментов «Joints» щелкаем в группе «Joints» на инструмент «Fixed».
  - В рабочем поле модели указываем два тела, которые необходимо зафиксировать (если тела перекрывают друг друга, то используем правую кнопку мыши).
  - Указываем точку, в которой будет расположена заделка, в результате чего появиться заделка.
  - Повторяем описанную последовательность для всех заделок.

#### 4. Создание механизма раскрытия

Для моделирования процесса раскрытия солнечных батарей необходимо создать торсионы, с помощью которых будет происходить раскрытие и моменты, имитирующие фиксацию створок солнечных батарей. Характеристики торсионов и моментов будут задаваться с помощью переменных времени разработки.

1. Для создания переменных выполняем следующие действия:
  - В главном меню выбираем «Build», в выпавшем меню выбираем «Design Variable», далее выбираем «New». В результате появится окно «Create Design Variable» (Рисунок 4.1).
  - В поле «Name» указываем имя переменной.
  - В выпадающем списке «Type» выбираем тип переменной.
  - В выпадающем списке «Units» выбираем единицы измерения.
  - В поле «Standard Value» указываем значение переменной.
  - Нажимаем кнопку «ОК»
  - Повторяем описанную последовательность для всех переменных.

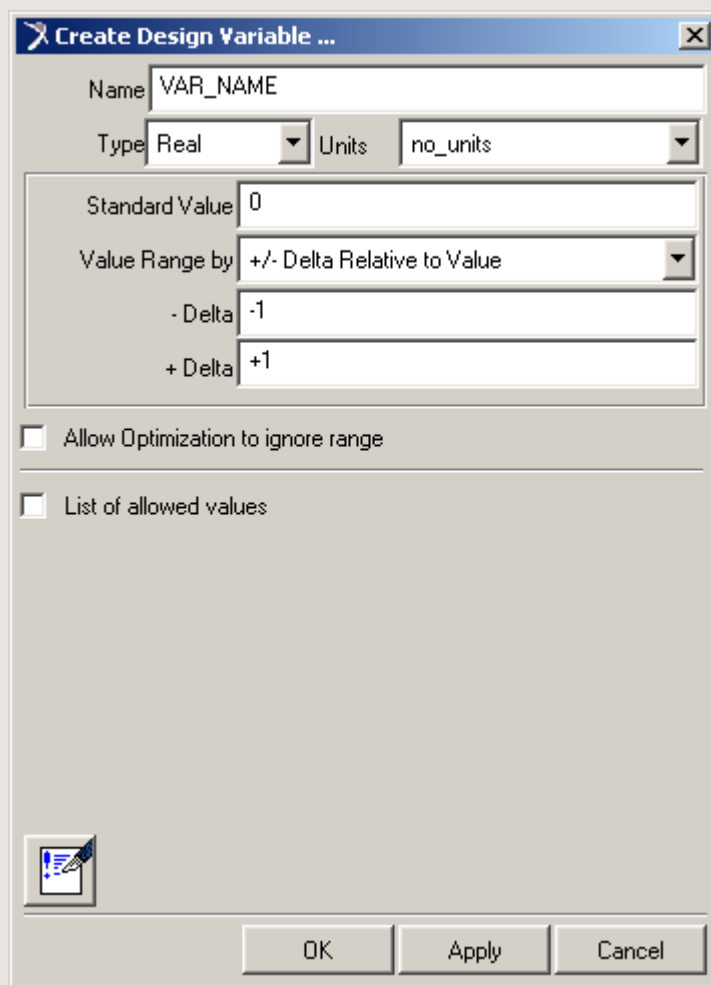


Рисунок 4.1 – Окно «Create Design Variable»

В таблице 1 приведена информация обо всех используемых переменных. Тип «Real» - вещественный тип.

Таблица 1 – Переменные

Имя	Тип	Единица измерения	Значение	Описание
TORS_STIF	Real	torsion_stiffnes	0.0095	Коэффициент жесткости используемых торсионов
TORS_DUMP	Real	torsion_damping	0.01	Коэффициент демпфирования используемых торсионов
TORS_FB_PRELOAD	Real	torque	1.1	Предварительная нагрузка торсиона между КА и внутренней рамой
TORS_FF_PRELOAD	Real	torque	2.2	Предварительная нагрузка торсиона между рамами
TORS_FS_PRELOAD	Real	torque	2.3	Предварительная нагрузка торсиона между внешней рамой и первой панелью

				солнечных батарей
--	--	--	--	-------------------

Таблица 1 – Продолжение

TORS_SS_PRELOAD	Real	torque	2.4	Предварительная нагрузка торсиона между панелями солнечных батарей
CPHI	Real	torsion_stiffnes	0.1	Коэффициент жесткости фиксирующего механизма
DAMP	Real	torsion_damping	0.01	Коэффициент демпфирования фиксирующего механизма
KPHI	Real	no_units	1	Показатель степени, характеризующий закон изменения удерживающего момента
PHI_DMAX	Real	angle	0.1	Максимальный угол проникновения

2. Для использования в формулах удерживающих моментов создадим мерки для углов поворота шарниров и угловых скоростей в шарнирах.

Для этого необходимо:

- В рабочем поле модели щелкнуть правой кнопкой мыши на шарнире и выпаем меню выбрать «Measure». В результате появиться окно «Joint Measure» (Рисунок 4.2).
- В поле «Measure Name» указать имя мерки.
- В выпадающем списке «Characteristic» выбрать измеряемую характеристику. («Ax/Ay/Az Projected Rotation» - угол поворота, «Relative Angular Velocity» - угловая скорость)
- На панели «Component» выбрать измеряемую компоненту характеристики.
- Нажать кнопку «ОК».
- Повторить описанную процедуру для всех цилиндрических шарниров.

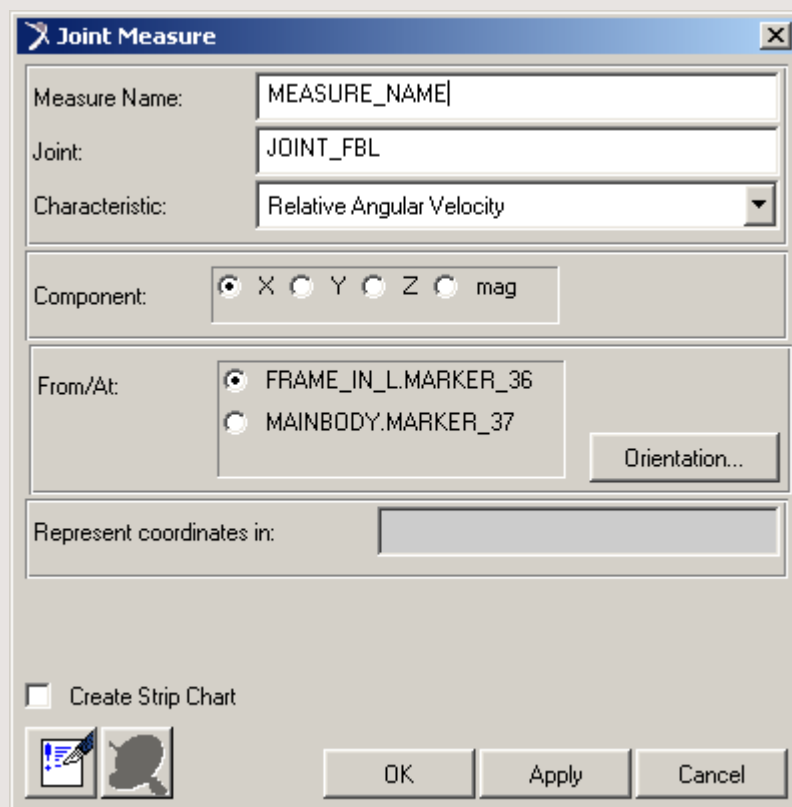


Рисунок 4.2 – Окно «Joint Measure»

3. Для создания дифференциального уравнения необходимо:

- В главном меню выбираем «Build», далее следуем пути «System Elements» => «Differential Equation» => «New». В результате появиться окно «Create Differential Equation» (Рисунок 4.3).
- В поле «Name» указать имя дифференциального уравнения.
- В выпадающем списке «Type» выбрать тип дифференциального уравнения. (В рассматриваемом случае «Explicit» - разрешенное относительно производной неизвестной функции)
- В поле «y'» указать правую часть дифференциального уравнения.
- В поле «y[t=0]» указать начальные условия интегрирования.
- Нажать кнопку «ОК».



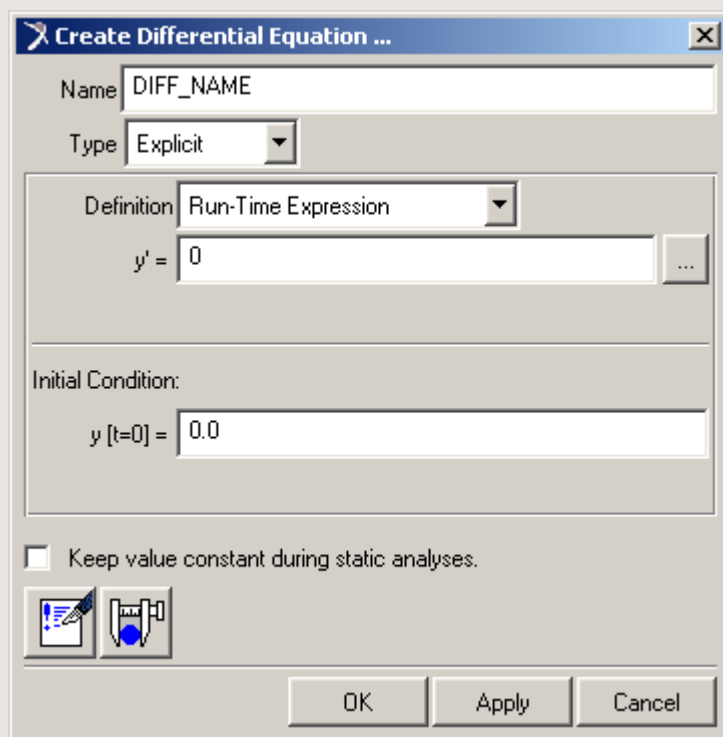


Рисунок 4.3 – Окно «Create Differential Equation»

Открываем панель инструментов «Create Forces» (рисунок 4.4). Для этого в главном меню выбираем «Build», а в выпавшем меню выбираем «Forces».

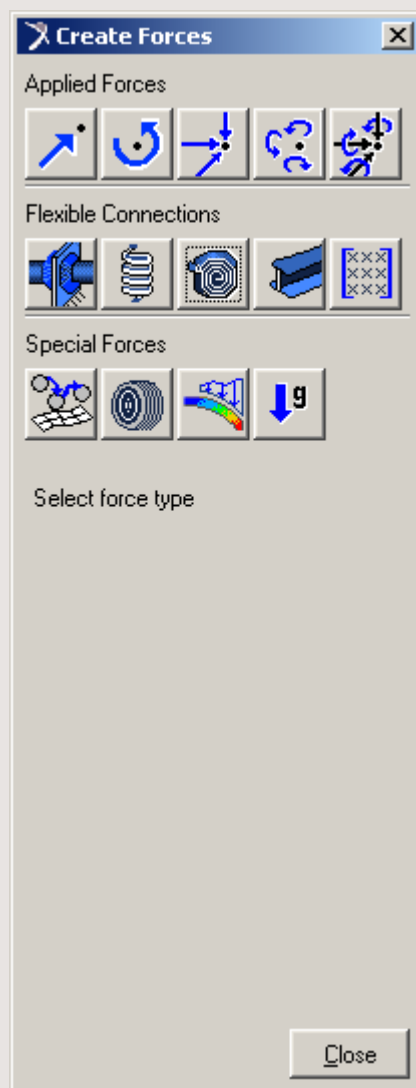


Рисунок 4.4 – Панель инструментов «Create Forces»

4. Для создания торсионов необходимо выполнить следующие действия:
  - Размещаем рабочую сетку таким образом, что ось торсиона перпендикулярна плоскости рабочей сетки.
  - На панели инструментов «Create Forces» щелкаем в группе «Flexible Connections» на инструмент «Torsion Spring».
  - В рабочем поле модели указываем два тела, которые необходимо соединить торсионом (если тела перекрывают друг друга, то используем правую кнопку мыши).
  - Указываем точку, в которой будет расположен торсион, в результате чего появится торсион.
  - Повторяем описанную последовательность для всех торсионов.
  
5. Для задания характеристик торсионов необходимо:

- Щелкнуть правой кнопкой мыши на торсионе. В выпавшем меню выбрать «Modify». В результате появиться окно «Modify a Torsion Forces» (Рисунок 4.5).
- На панели «Stiffness and Damping» в выпадающих списках выбрать «Stiffness Coefficient» и «Damping Coefficient».
- В соответствующих полях ввода ввести значения коэффициента жесткости (переменная «TORS\_STIF») и коэффициента демпфирования (переменная «TORS\_DUMP»).
- В поле «Preload» указать предварительную нагрузку (переменная соответствующая выбранному торсиону).
- Нажать кнопку «ОК».
- Повторить описанную последовательность для всех торсионов.

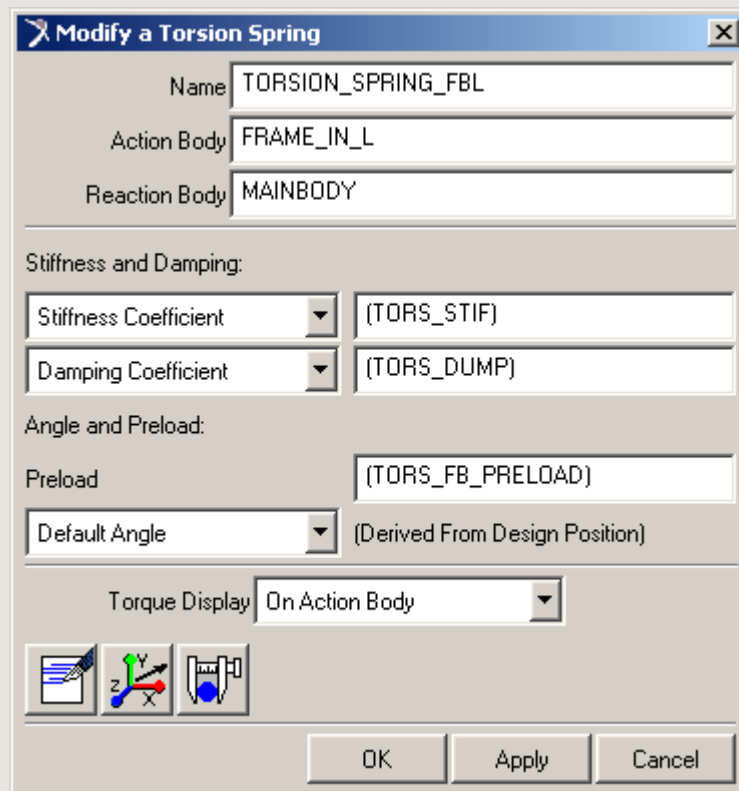


Рисунок 4.5 – Окно «Modify a Torsion Forces»

6. Для создания моментов имитирующих механизм фиксации необходимо выполнить следующие действия:
  - Размещаем рабочую сетку таким образом, что ось момента перпендикулярна плоскости рабочей сетки.
  - На панели инструментов «Create Forces» щелкаем в группе «Applied Forces» на инструмент «Torque (Single-Component)».

- В рабочем поле модели указываем два тела, между которыми действует момент (если тела перекрывают друг друга, то используем правую кнопку мыши).
- Указываем точку, в которой будет действовать момент, в результате чего будет создан момент.
- Повторяем описанную последовательность для всех моментов.

7. Для задания характеристик моментов необходимо:

- Щелкнуть правой кнопкой мыши на моменте. В выпавшем меню выбрать «Modify». В результате появится окно «Modify Torque» (Рисунок 4.6).
- В поле «Action Body» указываем тело
- В поле «Reaction Body» указываем тело
- В поле «Function» указать функцию, задающую величину момента.
- Нажать кнопку «OK».
- Повторить описанную последовательность для всех моментов.

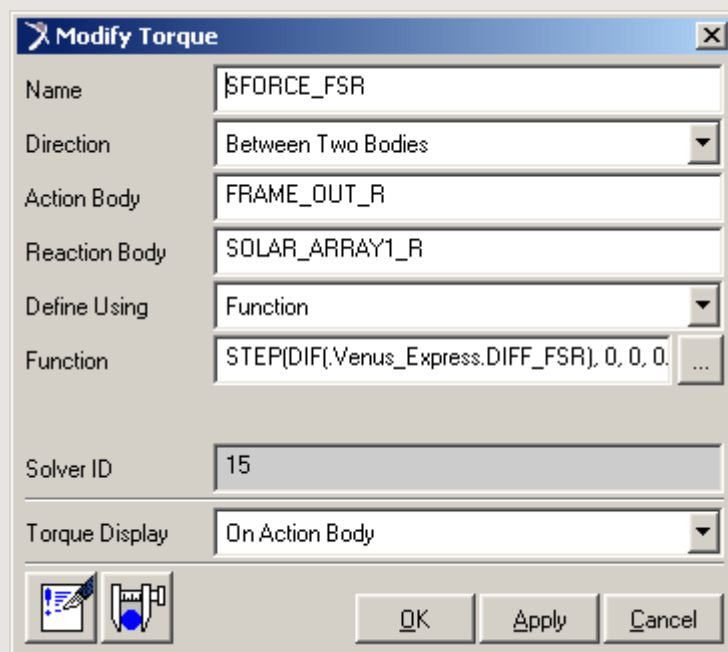


Рисунок 4.6 – Окно «Modify Torque»

Интегрирование уравнений движения будем производить в режиме скрипта симуляции, так как данный режим позволяет производить отключение элементов модели в процессе интегрирования. Это необходимо

для последовательного отключения фиксаторов удерживающих панели солнечных батарей от раскрытия.

8. Создадим скрипт симуляции. Для этого выполнил следующие действия:

- В главном меню выбираем «Simulate», далее «Simulation Script», а далее в выпавшем меню «New». В результате появиться окно «Create Simulation Script» (рисунок 4.7).
- В поле «Script» указываем имя скрипта.
- В выпадающем списке «Script Type» указываем тип скрипта. В нашем случае «ADAMS/Solver Commands».
- Для добавления команд используем выпадающий список в нижней части окна.

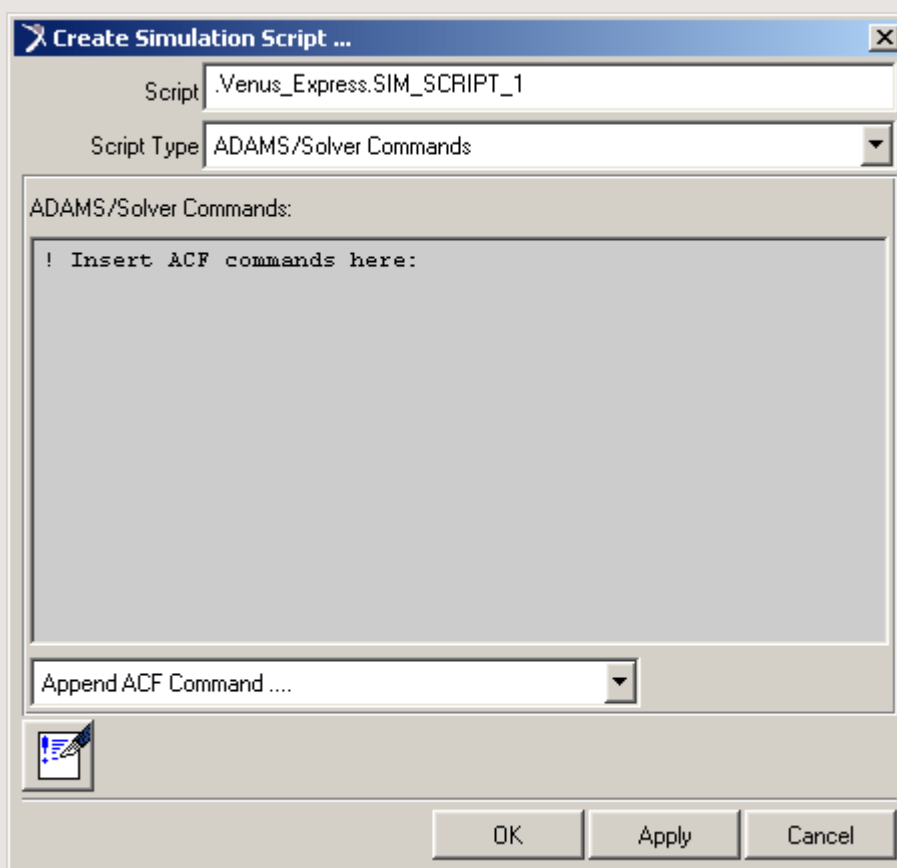


Рисунок 4.7 – Окно «Create Simulation Script»

Тело скрипта будут составлять команды запуска интегрирования и команды отключения механизмов удерживания солнечных батарей (жестких заделок).

Для добавления команды запуска интегрирования выбираем из выпадающего списка команду «Dynamic Simulation». В результате появиться окно «Dynamic Simulation» (Рисунок 4.8). В поле ввода «Step Size» указываем шаг интегрирования. В поле ввода «End Time» время остановки интегрирования.

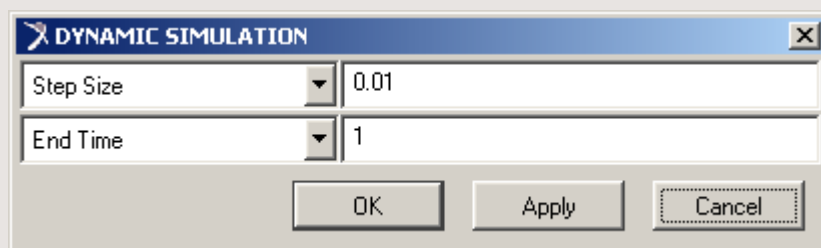


Рисунок 4.8 – Окно «Dynamic Simulation»

Для добавления команды отключения выбираем из выпадающего списка команду «Deactivate». В результате появиться окно «Deactivate» (Рисунок 4.9). Для отключения шарнира необходимо в поле ввода «Joint Name» указать имя отключаемого шарнира. Так же можно в данном поле ввода щелкнуть правой кнопкой мыши, что позволит выбрать шарнир просто указав на него в рабочем поле модели («Joint → Pick») или выбрав его из списка («Joint → Guesses»).

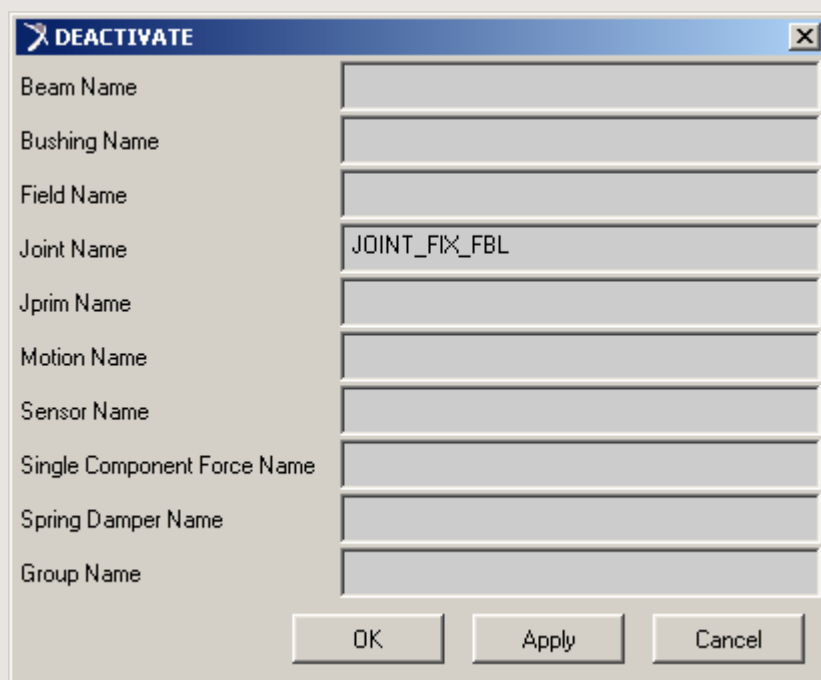


Рисунок 4.9 – Окно « Deactivate»