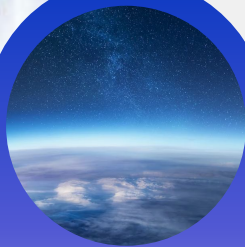




Полёт Гагарина

Команда "Space-Y"
Группа: М8О-11Б-23



Наша команда



- Королёв Иван - тимлид; заполнял отчет, делал репозиторий с проектом на gitlab MAI, помогал с выводом математической модели
- Бугренков Владимир - физик; создал физическую и математическую модель, подготовил презентацию проекта, помогал строить графики скоростей
- Рожков Иван - тестировщик KSP; собрал ракету, запустил ее, записал об этом видео, программист
- Ласточкин Максим - программист; построил график скоростей

Цель и задачи

Цель: Смоделировать полет ракеты
“Восток-1”.

Задачи:

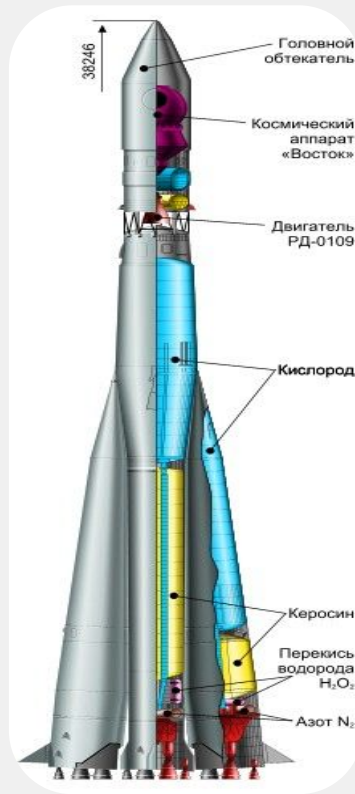
- 1.Изучить доступную информацию о совершенном полете;
- 2.Рассчитать недостающие данные и составить математические модели;
- 3.Воссоздать миссию в KSP;
- 4.Осуществить программную реализацию и сравнить с полученными из симуляции KSP данными;
- 5.Составить отчет по проделанной работе.



Конструкция ракеты Восток-1



Технические характеристики	
Стартовая масса ракеты носителя	287 тонн
Общая длина с обтекателем	38,36 метров
Максимальный поперечный размер	10,3 метра

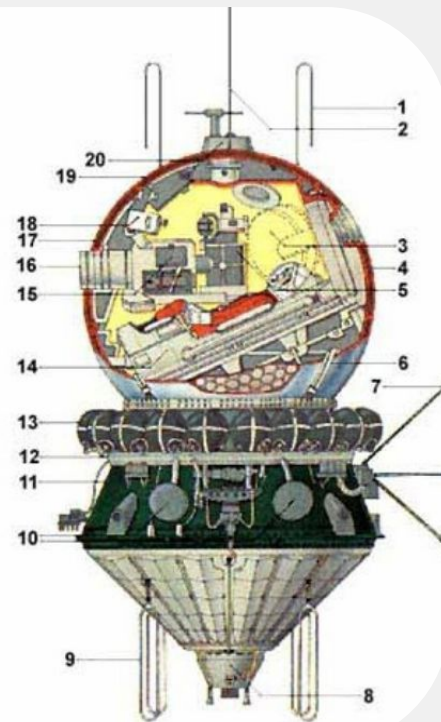


Конструкция спускаемого аппарата ракеты Восток-1



Технические характеристики	
Масса спускового аппарата	4725 килограмм
Диаметр геометрического корпуса	2,2 метра
Длина	4,4 метра
Максимальный диаметр	4,43 метра

- 1 Антенна системы командных радиолиний.
- 2 Антенна связи.
- 3 Кожух электроразъемов.
- 4 Входной люк.
- 5 Контейнер с пищей.
- 6 Стяжные ленты.
- 7 Ленточные антенны.
- 8 Тормозной двигатель.
- 9 Антенны связи.
- 10 Служебные люки.
- 11 Приборный отсек с основными системами.
- 12 Проводка зажигания.
- 13 Баллоны пневмосистемы.
- 14 Катапультируемое кресло.
- 15 Радиоантенна.
- 16 Иллюминатор с оптическим ориентиром.
- 17 Технологический люк.
- 18 Телевизионная камера.
- 19 Теплозащита из абляционного материала.
- 20 Блок электронной аппаратуры.



Физическая модель



Величина	Обозначение
$\vec{F}_{тяги}$	Сила тяги
M_0	Масса полезной нагрузки
\vec{g}	Ускорение свободного падения
τ_i	Время сгорания топлива i-й ступени
t	Время
I_i	Удельный импульс двигателя i-й ступени
N	Число ступеней ракеты
μ	Скорость сгорания топлива i-й ступени
M_{1i}	Масса заправленной i-й ступени ракеты
M_{2i}	Масса i-й ступени без топлива

Физическая модель



$$V = \sum_{i=1}^N I_i \cdot \ln \left(\frac{M_0 + \sum_{j=i}^N M_{1j}}{M_0 + M_{2i} - M_{1i} + \sum_{j=i}^N M_{1j}} \right) \rightarrow \text{Формула Циолковского для многоступенчатой ракеты, в нашем случае } N=3$$

$$\Delta v_u = \int_0^t \frac{F(t)}{m(t)} \cdot (1 - \cos(\alpha(t))) dt, \rightarrow \text{Потери скорости ракеты на управление, где } \alpha(t) - \text{угол между векторами тяги и скорости ракеты}$$

$$\Delta v_g = \int_0^t g(t) \cdot \cos(\gamma(t)) dt, \rightarrow \text{Гравитационные потери скорости ракеты на управление, где } \gamma(t) - \text{угол между вектором силы тяги двигателя и местным вектором гравитации.}$$

Выведем формулу математической модели
Скорости трехступенчатой ракеты
"Восток - 1"

Математическая модель



$$\begin{aligned} V(t) = & f_1(t)I_1 \ln \left(\frac{M_0 + M_{21} + m_1 - \mu_1 t f_1(t) + M_{22} + m_2 - \mu_2 t f_3(t) + M_{23} + m_3 - \mu_3 t f_3(t)}{M_0 + M_{21} + M_{22} + m_2 - \mu_2 t f_2(t) + M_{23} + m_3 - \mu_3 t f_3(t)} \right) + \\ & + f_2(t)I_2 \ln \left(\frac{M_0 + M_{22} + m_2 - (\mu_2(t - \tau_2)f_2(t)) + M_{23} + m_3 - \mu_3(t - \tau_2)f_3(t)}{M_0 + M_{22} + M_{23} + m_3 - \mu_3 t f_3(t)} \right) + \\ & + f_3(t)I_3 \ln \left(\frac{M_0 + M_{23} + m_3 - \mu_3(t - \tau_3 - \tau_2)f_3(t)}{M_0 + M_{23}} \right) - \\ & - f_1(t) \left(\frac{I_1 \mu_2 g (1 - \cos(\alpha(t)))}{M_0 + M_{21} + m_1 - \mu_1 t f_1(t) + M_{22} + m_2 - \mu_2 t f_3(t) + M_{23} + m_3 - \mu_3 t f_3(t)} \right) - \\ & - f_2(t) \left(\frac{I_2 \mu_2 g (1 - \cos(\alpha(t)))}{M_0 + M_{22} + m_2 - (\mu_2(t - \tau_2)f_2(t)) + M_{23} + m_3 - \mu_3(t - \tau_2)f_3(t)} \right) - \\ & - f_3(t) \left(\frac{I_3 \mu_3 g (1 - \cos(\alpha(t)))}{M_0 + M_{23} + m_3 - \mu_3(t - \tau_3 - \tau_2)f_3(t)} \right) - g t \sin(\beta(t)) \Big]. \end{aligned}$$

Итоговая формула
скорости ракеты $V(t)$

$$f_1(t) = (\tau_1 - t > 0)$$

булевы
функции



$$f_2(t) = (\tau_1 + \tau_2 - t > 0) \& (\tau_1 - t \leq 0)$$

$$f_3(t) = (\tau_1 + \tau_2 - t \leq 0) \& (\tau_3 + \tau_2 + \tau_1 - t > 0)$$

Ссылки

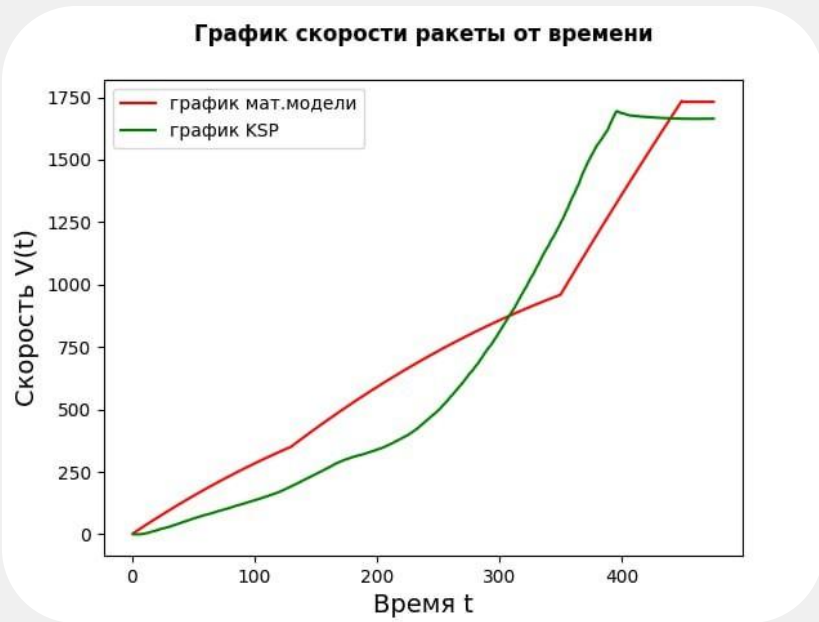
- GitLab MAI u Google Drive



Сравнение симуляции и математической модели



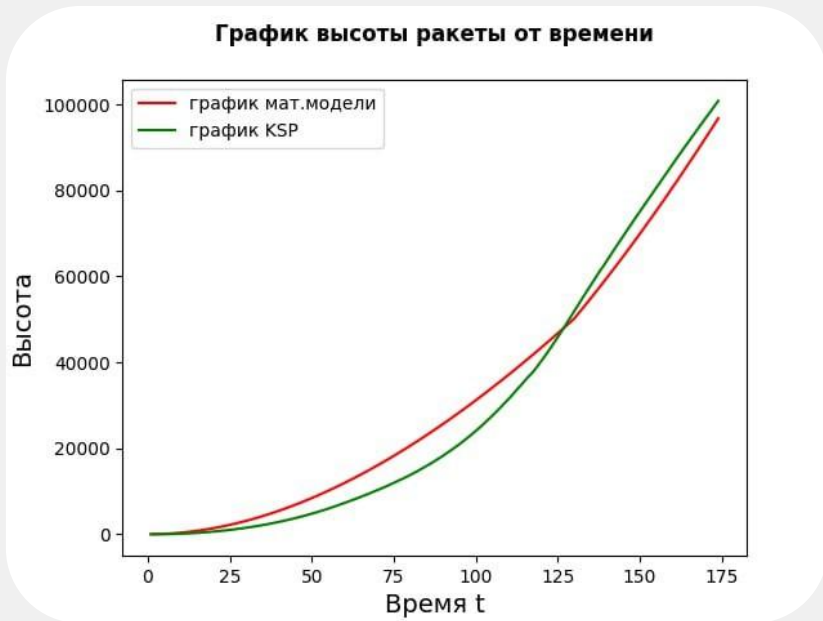
- Наложение полученных графиков скоростей



Сравнение симуляции и математической модели



- Наложение полученных графиков высот



Сравнение симуляции и математической модели



- Абсолютная погрешность измерений конечной скорости ракеты составила 40 м/с.
- Относительная погрешность измерений составила примерно 2%
- Полученная погрешность обусловлена тем, что мы не учитывали аэродинамические потери в физической модели и, следовательно, не учли их в математической модели, считали ускорение свободного падения постоянным и изменение углов α и γ линейными для упрощения построения графиков

Вывод



- Наша команда провела обширное исследование, начиная с изучения доступной информации о совершенном полете. Затем мы успешно рассчитали недостающие данные и разработали математическую модель, которая послужила основой для воссоздания миссии в Kerbal Space Program (KSP). После этого мы написали программу для расчета скорости и высоты по математической модели и провели сравнение полученных результатов с данными из симуляции KSP. Наконец, наша команда подготовила подробный отчет, описывающий все этапы проделанной работы, полученные результаты и выводы, которые могут быть использованы для будущих исследований.

Спасибо за внимание!