

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
“МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ”

MOSCOW AVIATION INSTITUTE SPACE ASSOCIATION
(MAISA)

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:
PERSEVERANCE MARS-2020

Москва

2022

Список исполнителей

Тимлид команды _____ Гиголаев А.А.

Физик _____ Евсеев Ю.В.

Программист _____ Мирошников Д.Е.

Программист _____ Калиниченко А.А.

Программист _____ Беспалов А.М.

Реферат

Страниц – 12, книг отчета – 1, иллюстраций – 4, таблиц – 1,
использованные источники – 1.

СИМУЛЯЦИЯ ПОЛЕТА НА МАРС, МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ, МЕЖОРИТАЛЬНЫЕ ПОЛЕТЫ, ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Объектом исследования является марсоход «Perseverance», а также космический корабль «Atlas V», предназначенный для его доставки на поверхность Марса.

Цель работы – разработка математической и физической модели и проведение симуляции исторической миссии «МАРС 2020».

В процессе работы проводилось детальное изучение информации о конструкции корабля и марсохода.

В результате исследования были составлены математические модели, на основе реальных данных, был построен прототип корабля в системе KSP и проведен пилотируемый полет к Марсу.

Основные конструктивные показатели: высокая схожесть с реальным космическим аппаратом.

Содержание

Список исполнителей.....	2
Реферат.....	3
Термины и определения.....	5
Введение	7
Основная часть	8
1 этап. Разработка математической модели.....	8
2 этап. Построение графиков с помощью ЯП.	13
3 этап. Сравнение данных.....	16
Заключение	17
Список использованных источников	18

Термины и определения

В настоящем отчете о научно-исследовательской работе применяют следующие термины с соответствующими определениями.

Kerbal space program	Компьютерная игра, система для симуляции космических полетов.
----------------------	---

Перечень сокращений и определений

В настоящем отчете о научно-исследовательской работе применяют следующие сокращения и обозначения.

KSP	Kerbal space program.
-----	-----------------------

Введение

В наше время все активнее проводятся наблюдения за экосистемой Марса. Многие ученые рассматривают эту планету как «новый дом» для человечества. Одним из прорывов в изучении Марса стал полет космического корабля «Atlas V» с миссией «Mars 2020». На борту корабля находился марсоход «Perseverance» и вертолет Ingenuity, которые были успешно доставлены на красную планету 18 февраля 2021 года. Эти беспилотные транспортные средства также являются небольшими научными лабораториями: так, в марсоходе «Perseverance» установлен бур и отсек для гильз, в которые можно поместить образцы пород с поверхности Марса.

Наша команда сделала выбор в сторону этой миссии из-за ее комплексности и важности для дальнейшей судьбы человечества.

Основная часть

1 этап. Разработка математической модели.

Юрий Евсеев, физик из команды MAISA, разработал ряд математических моделей.

Взлет ракеты с поверхности земли

Пусть изменение массы космического аппарата со временем : $\Delta m = m_0 - \eta t$, где m_0 - начальная масса, η - расход топлива. (1)

Рассмотрим второй закон Ньютона.

$ma = F_{\text{тяги}} - F_{\text{гр}} - F_{\text{сопр}}$, где $F_{\text{гр}} = \Delta mg$, $F_{\text{сопр}} = 0,5cS\rho_{\text{среды}}V^2$

$S = \pi d^2/4$ - площадь поперечного сечения ракеты

c - табличное значение (~ 0.0045)

Проецирую второй закон Ньютона на вертикальную ось и подставив формулы получим:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F_{\text{тяги}} - \Delta mg - 0,5cS\rho V^2}{\Delta m} \quad (2)$$

Также с течением времени меняется скорость от высоты: $\frac{dh}{dt} = v(t)$

(по определению скорости)

Сила тяги меняется в зависимости от высоты и от этапа полета.

Предположим, что сила тяги меняется по линейному закону.

$$F_{\text{тяги}} = F_{\text{тяги}0} + \lambda t \quad (3)$$

Относительно высоты также меняется плотность среды

$\rho = \rho_0 e^{-\beta h}$, где $\beta = 1,29 \cdot 10^{-4}$, а ρ_0 - плотность среды около поверхности Земли (4)

С учетом того, что ракета летит под определенным углом к горизонту, этот угол α будет меняться с течением времени также по линейному закону.

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \beta t, \text{ где } \beta - \text{ угол между вертикальной осью и кораблем } (5)$$

$$\beta = \text{const}$$

Перемножая пропорцией формулу (2) и интегрируя получаем:

$$v_{next} = \frac{F_{T0}t + \lambda \frac{t^2}{2} - g(m_0 - \eta \frac{t^2}{2}) - 0,5cS\rho_0 e^{-\beta h} v_{prev}^2}{m_0 - \eta \frac{t^2}{2}} (6)$$

Проецируя на Ох и Оу получим:

$$v_x = \frac{F_{T0}t + \lambda \frac{t^2}{2} - g(m_0 - \eta \frac{t^2}{2}) - 0,5cS\rho_0 e^{-\beta h} v_{prev}^2}{m_0 - \eta \frac{t^2}{2}} \cos \alpha(t) (7)$$

$$v_y = \frac{F_{T0}t + \lambda \frac{t^2}{2} - g(m_0 - \eta \frac{t^2}{2}) - 0,5cS\rho_0 e^{-\beta h} v_{prev}^2}{m_0 - \eta \frac{t^2}{2}} \sin \alpha(t) (8)$$

Объединяя все уравнения получаем систему:

$$v_{next} = \frac{F_{T0}t + \lambda \frac{t^2}{2} - g(m_0 - \eta \frac{t^2}{2}) - 0,5cS\rho_0 e^{-\beta h} v_{prev}^2}{m_0 - \eta \frac{t^2}{2}}$$

$$v_x = \frac{F_{T0}t + \lambda \frac{t^2}{2} - g(m_0 - \eta \frac{t^2}{2}) - 0,5cS\rho_0 e^{-\beta h} v_{prev}^2}{m_0 - \eta \frac{t^2}{2}} \cos \alpha(t)$$

$$v_y = \frac{F_{T0}t + \lambda \frac{t^2}{2} - g(m_0 - \eta \frac{t^2}{2}) - 0,5cS\rho_0 e^{-\beta h} v_{prev}^2}{m_0 - \eta \frac{t^2}{2}} \sin \alpha(t)$$

$$\Delta m = m_0 - \eta t$$

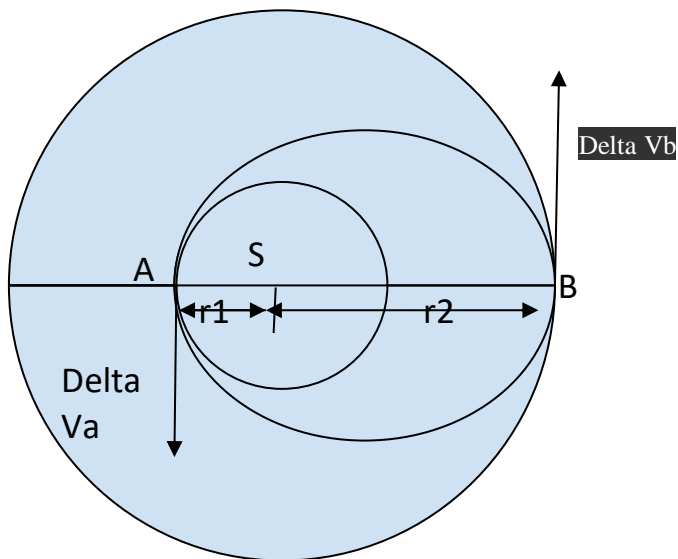
$$F_{тяги} = F_{тяги0} + \lambda t$$

$$\rho = \rho_0 e^{-\beta h}$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \beta t$$

Данная система описывает взлет ракеты с поверхности Земли.

Гомановский перелет



Допустим, после взлета, через определенное время, мы оказались на геопереходной орбите и нам нужно попасть на орбиту Марса. Сделаем это с помощью Гомановского перехода.

Для этого нужно узнать орбитальную скорость тела.

$$v = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$
 μ - гравитационный параметр, r - расстояние между телами, a - большая полуось.

Так как орбита круговая, то формула примет вид:

$$v = \sqrt{\frac{\mu}{r}}$$

Тогда приращение скоростей можно выразить следующим образом:

$$\Delta V_A = \sqrt{\frac{\mu}{r_1}} \left(\sqrt{\frac{2r_1}{r_1 + r_2}} - 1 \right)$$

$$\Delta V_B = \sqrt{\frac{\mu}{r_2}} \left(-\sqrt{\frac{2r_1}{r_1 + r_2}} + 1 \right)$$

Суммарное изменение скорости будет равно $\Delta V_S = \Delta V_A + \Delta V_B$

По формуле Циолковского находим расход топлива

$$\Delta m = (1 - e^{-\frac{\Delta V_S}{I}}) m_0, \text{ где } I - \text{удельная тяга ракеты.}$$

$$\text{Эксцентриситет орбиты перехода: } e = \frac{r_2 - r_1}{r_2 + r_1}$$

Время, за которое совершается переход, равно половине периода Гомановской орбиты.

$$t = \pi \frac{a^{3/2}}{\mu^{1/2}}, \text{ где } a = \frac{r_1 + r_2}{2}$$

Для Гомановского перелета угловая дальность равна 180°

Угол начальной конфигурации определяется по формуле $\gamma = 180^\circ - a$, где a - дуга, которую проходит ракета за время перелета.

$$a = \omega t, \text{ где } \omega - \text{угловая скорость.}$$

Начальная конфигурация наступает за определенное время до того, как либо внутренняя планета догонит Землю и окажется на нижней линии соединения, либо Земля догонит внешнюю планету и окажется на линии верхнего соединения.

2 этап. Построение графиков с помощью ЯП.

Дмитрий Мирошников, Артем Калиниченко и Артем Беспалов, программисты из команды MAISA, пользуясь историческими данными, с помощью языка программирования Python и библиотек Numpy и Matplotlib смоделировали графики выведенных математических законов, которые бы смогли пригодиться при испытаниях, на основании реальных данных о ракетоносителе. Среди них:

Данные:

- Длина ракеты - 58.3 м
- Количество ускорителей на каждой ступени - 5
- Стартовая масса ~ 546.6 т Масса полезного груза ~ 27 т
- Стартовая масса топлива ~ 284.5 т
- Расход топлива ~ 1.1 т/с
- Диаметр ракеты - 3.81 м
- Тяга ускорителя ~ 1660 кН

Рисунок 1

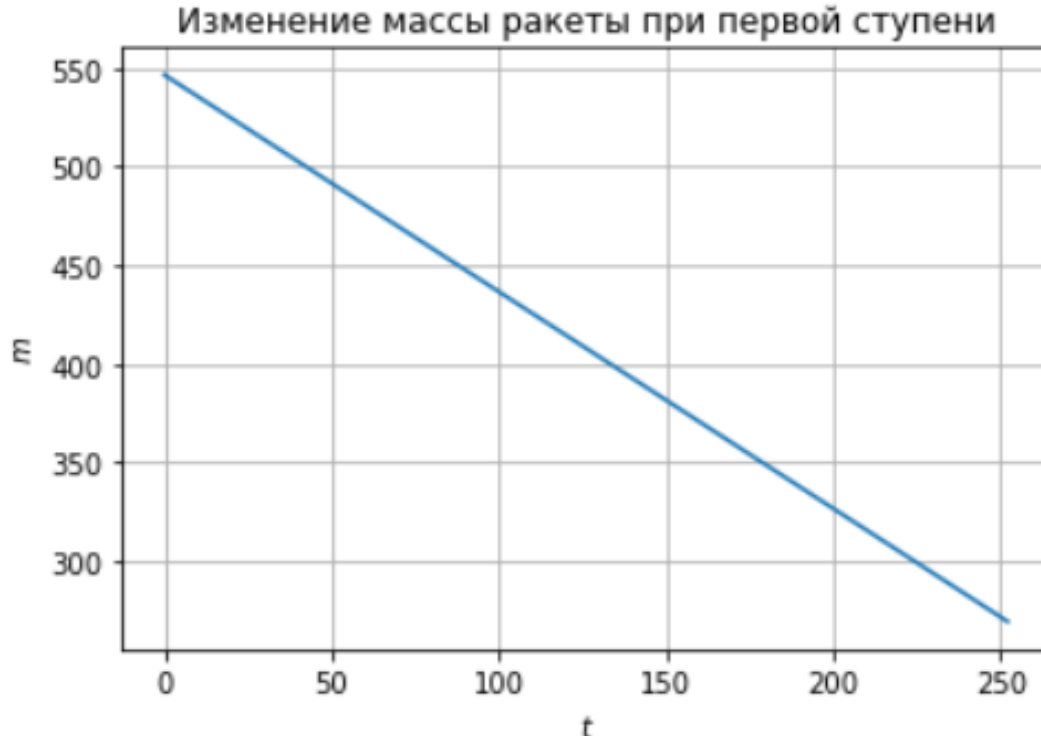


Рисунок 2

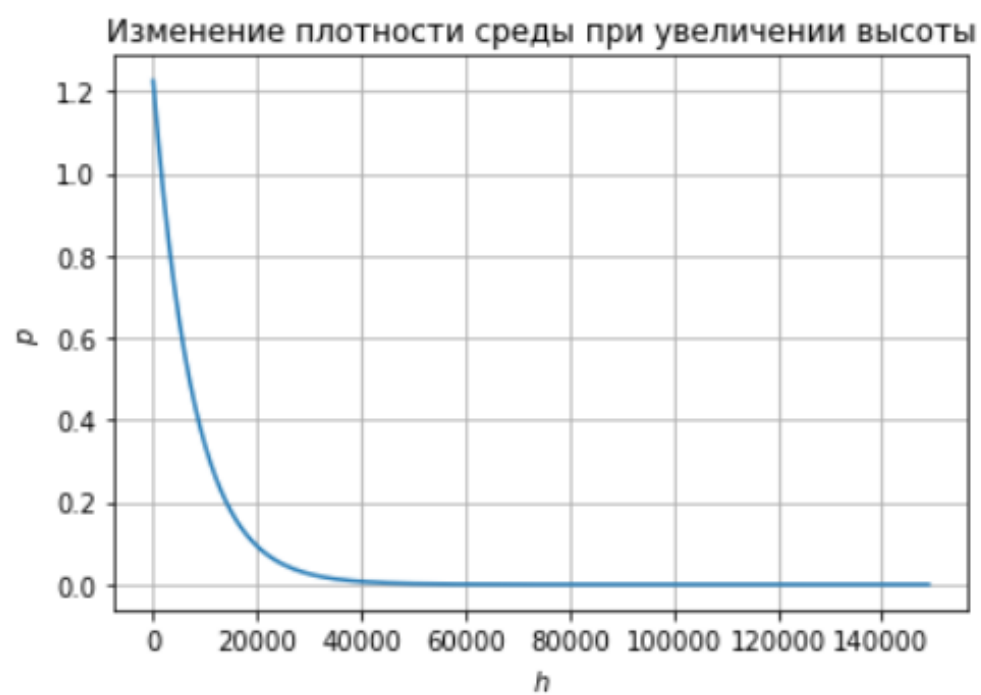


Рисунок 3

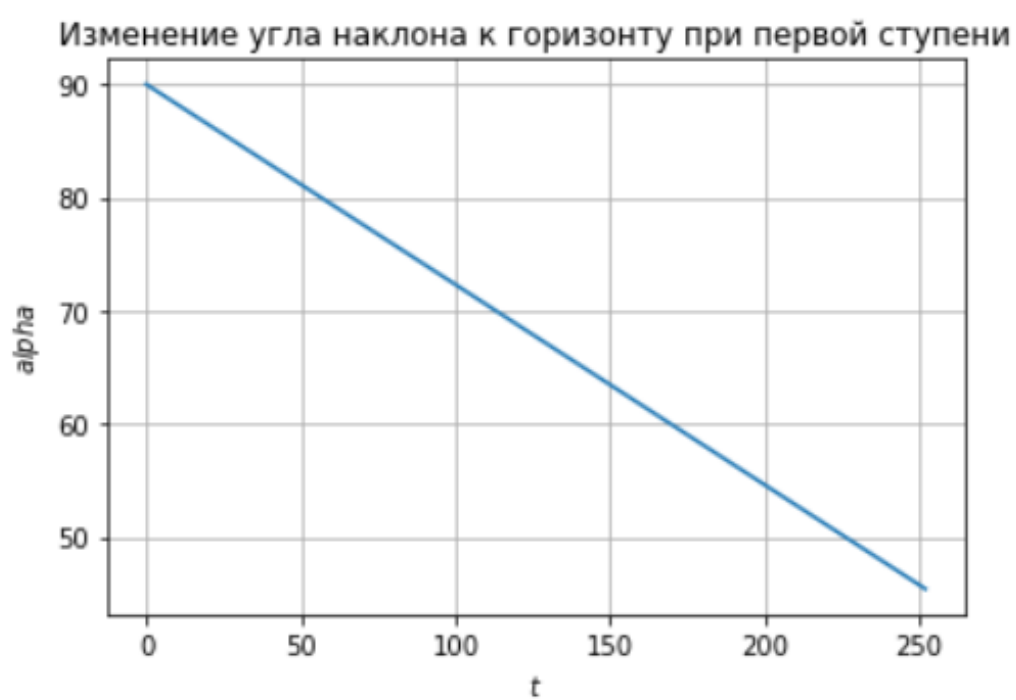
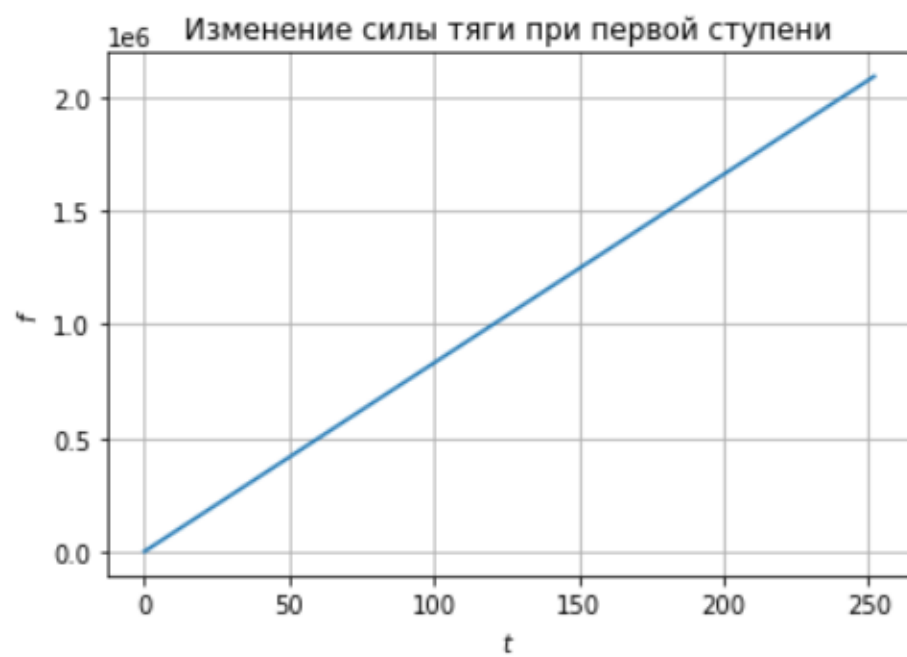


Рисунок 4



3 этап. Сравнение данных.

На данном этапе необходимо сравнить значения из таблицы с расчетами со значениями, полученными в ходе испытаний.

	Расчетное значение	Экспериментальное значение	Отклонение

Заключение

Несмотря на трудности, у команды MAISA получилось найти решение, позволяющее исследовать историческую миссию MARC 2020. Были составлены математические модели, запрограммированы графики и проведено испытание. По результатам сравнительного анализа можно вынести вердикт: расчеты команды **сошлись/не сошлись** с экспериментальными данными, полученными в ходе полета.

Список использованных источников

1. Статья из Википедии про миссию: https://ru.wikipedia.org/wiki/Марс-2020#Полёт_и_посадка_на_Марс