

**Введение в авиационную и ракетно-
космическую технику**

Миссия Луна–3

Декабрь 2025

Проект команды “Дальше меньше”



Состав команды и роли (группа М8О–115ВВ–25):

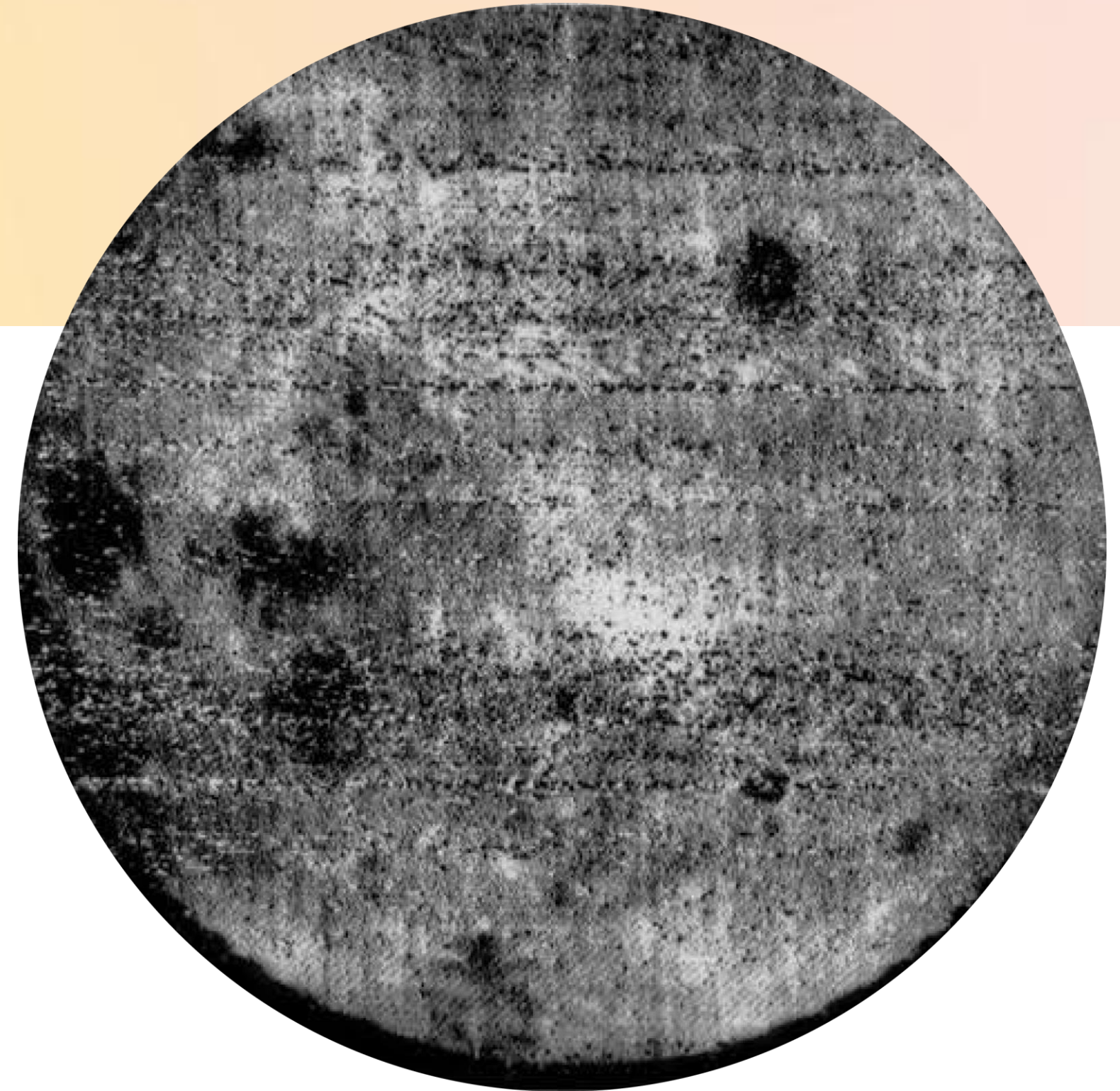
Сарандаев А.Н. – тимлид, программист, физик
Сироткина С.А. – математик, программист
Еранова А.С. – реализация полета в **KSP**,
технический писатель
Дагаева Т.Д. – реализация полета в **KSP**,
технический писатель

Задачи проекта:

- 1) Подобрать наиболее оптимальные и близкие к историческим характеристики конструируемой ракеты для осуществления миссии
- 2) Разработать и описать математическую и физическую модели
- 3) Осуществить полет в **KSP**
- 4) Осуществить программную реализацию созданных математической и физической моделей
- 5) Сравнение полученных результатов с результатами симуляции полёта в **KSP**
- 6) Провести отчетность

Описание миссии

Советская автоматическая межпланетная станция «Луна-3» в октябре 1959 года впервые в истории получила и передала на Землю изображения обратной стороны Луны. Это стало возможным благодаря уникальной фототелевизионной системе, использованию высококачественной трофейной фотоплёнки и точному гравитационному манёвру. Миссия, в успех которой мало кто верил, стала триумфом советской космической программы и открыла новую эпоху в исследовании космоса.



Kerbal Space Program

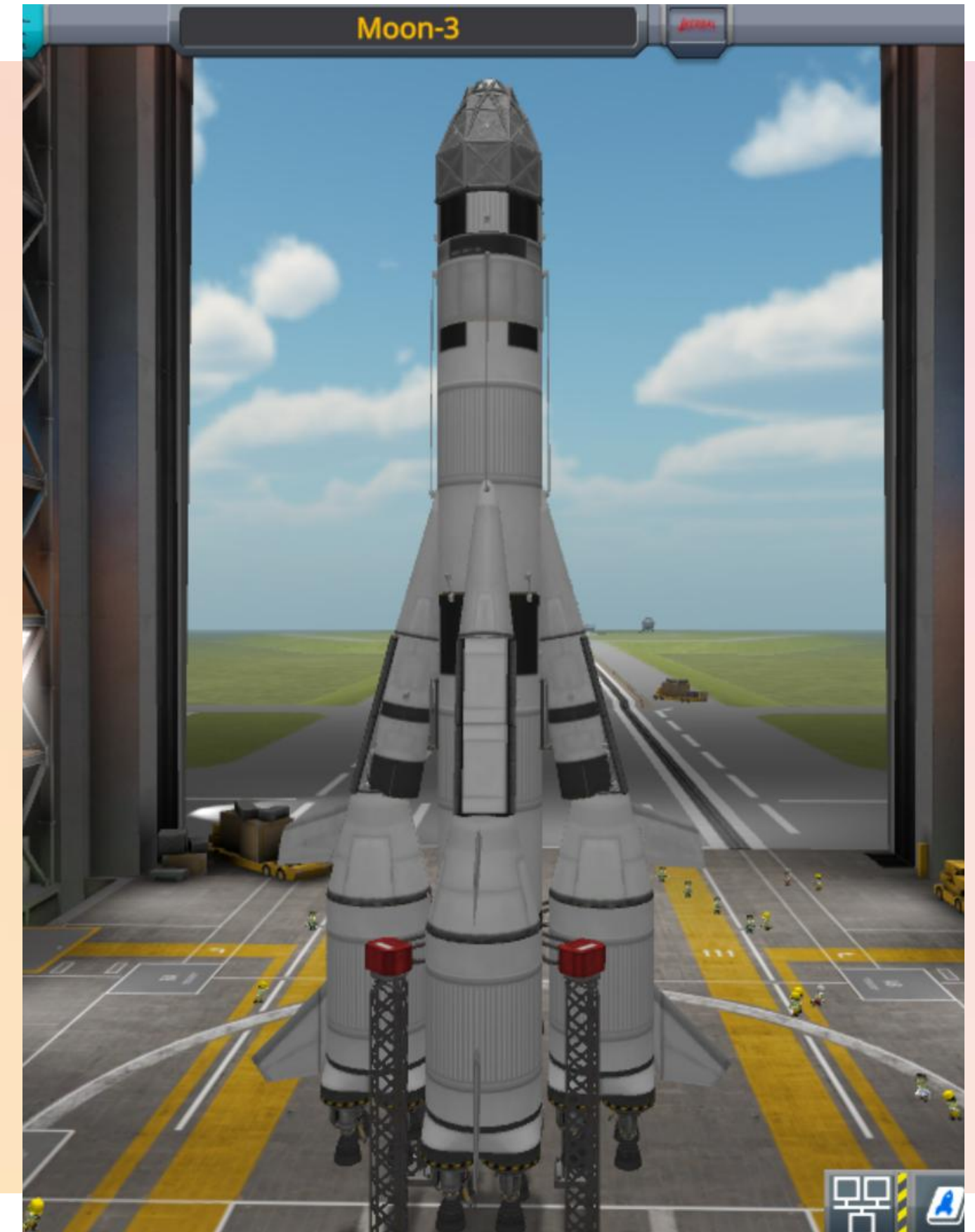
Симуляция полёта была проведена в **Kerbal Space Program**.

Построили трехступенчатую ракету, опираясь на Ракета-носитель Восток-Л.

Разница в размерах и массе по сравнению с настоящей ракетой:

- 1) Высота = 33,5м / Высота в KSP = 25,6м
- 2) Ширина = 10,3м / Ширина в KSP = 10,4м
- 3) Масса = 279000кг / Масса в KSP = 206300кг

АМС “Луна-3” в **KSP**:



Физическая и математическая модели

Второй закон Ньютона: $m * \bar{a} = \sum \bar{F}$

$$m * \bar{a} = m\bar{g} + \bar{F}_c + \bar{F}_T$$

$$m * a * \cos(\alpha) = -mg - F_c * \cos(\alpha) + F_T * \cos(\alpha)$$

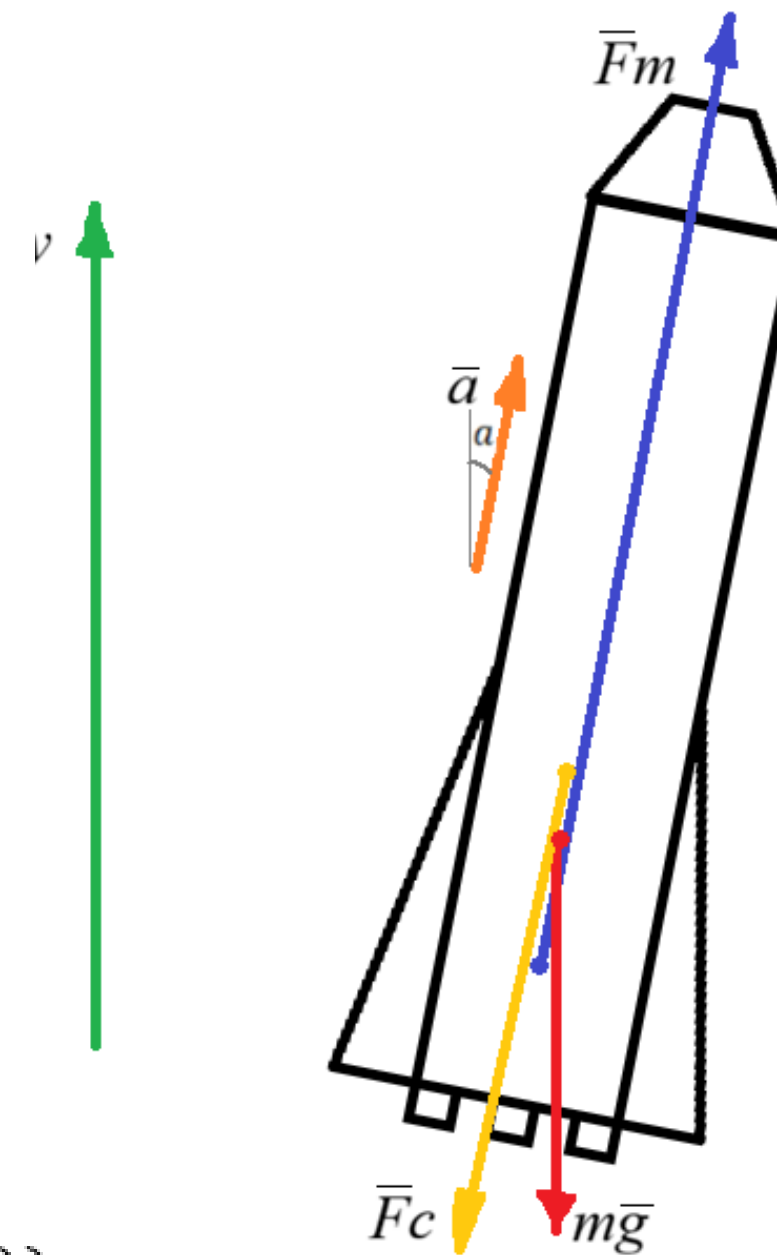
Расход массы топлива в единицу времени: $k = \frac{M - m_0}{T}$

Отсюда: $m(t) = M - k * t$

Сила сопротивления воздуха: $F_c = \frac{\rho S v^2}{2} C_f$

Получаем:

$$m(t) * a * \cos(\alpha(t)) = -m(t)g - \frac{\rho S v^2}{2} C_f * \cos(\alpha(t)) + F_T * \cos(\alpha(t))$$



Подставим: $m(t) = M - k \cdot t$

$$(M - k \cdot t) \cdot a \cdot \cos(\alpha(t)) = -(M - k \cdot t)g - \frac{\rho S v^2}{2} C_f \cdot \cos(\alpha(t)) + F_T \cdot \cos(\alpha(t))$$

Разделим обе части на $\cos(\alpha(t))$: $(M - k \cdot t) \cdot a = -\frac{(M - k \cdot t)g}{\cos(\alpha(t))} - \frac{\rho S v^2}{2} C_f + F_T$

Выразим a ($a = v'$): $v' = -\frac{g}{\cos(\alpha(t))} - \frac{\rho S v^2}{2(M - k \cdot t)} C_f + \frac{F_T}{(M - k \cdot t)}$

Уравнение скорости для движения с ускорением: $\bar{v} = \bar{v}_0 + \bar{a}t$

Начальная скорость $v_0 = 0$: $v = at$

Гравитационные потери: $\Delta v_g = \int_0^t g(t) \cdot \cos(\gamma(t)) dt$

Выведем формулу первой
космической скорости:

$$ma_{\text{цс}} = F_{\text{тяж}}$$

$$\frac{mv_1^2}{R} = G \frac{Mm}{R^2}$$

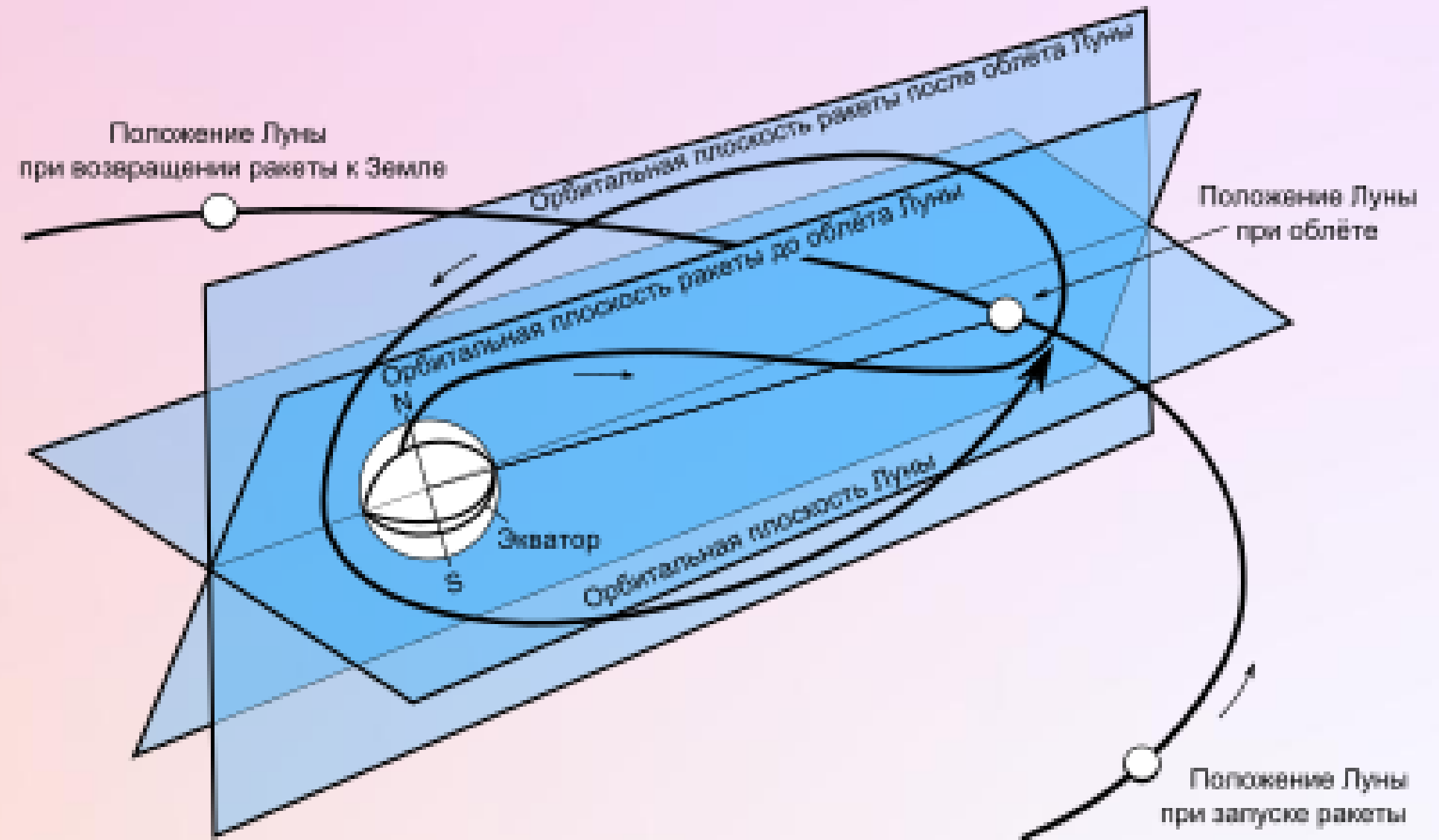
$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

Формула второй космической скорости
через полную механическую энергию:

$$\frac{mv_2^2}{2} = G \frac{Mm}{R}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = v_1\sqrt{2}$$

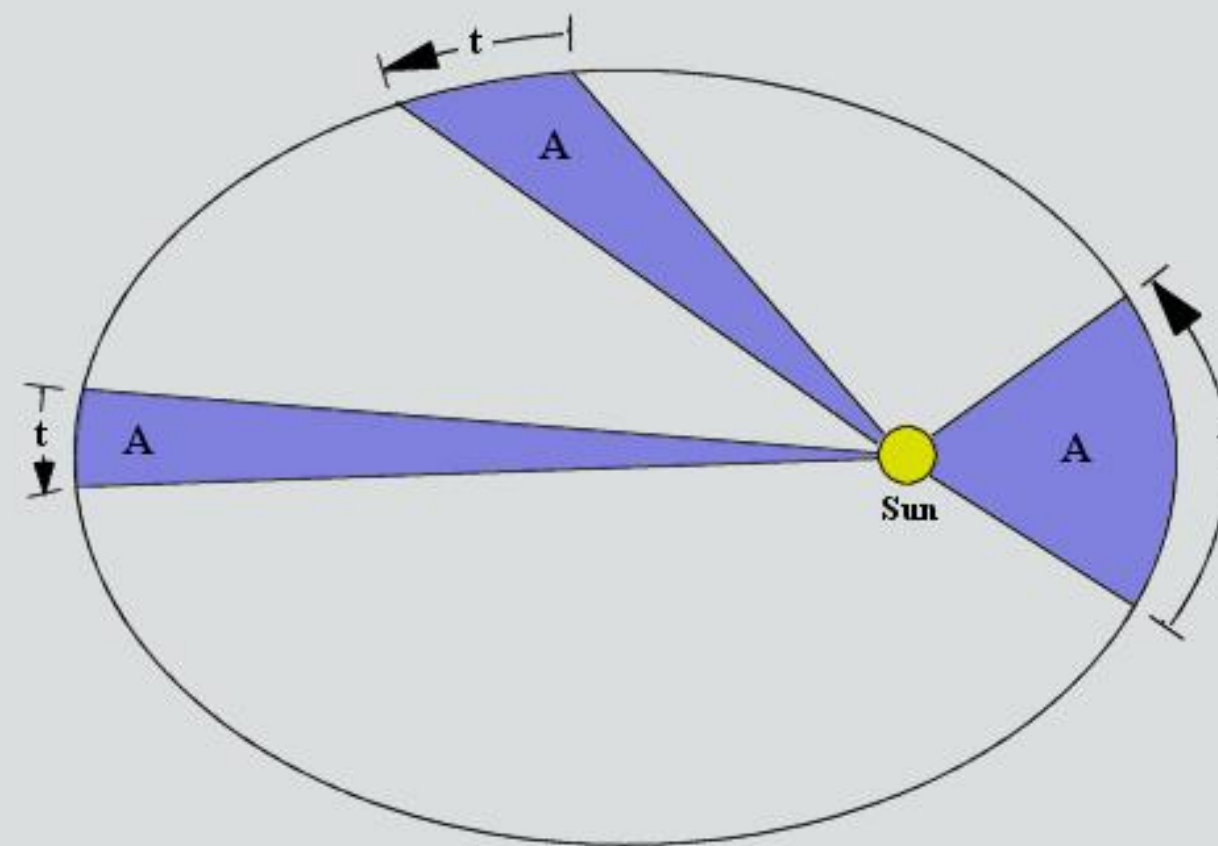
Движение в космосе



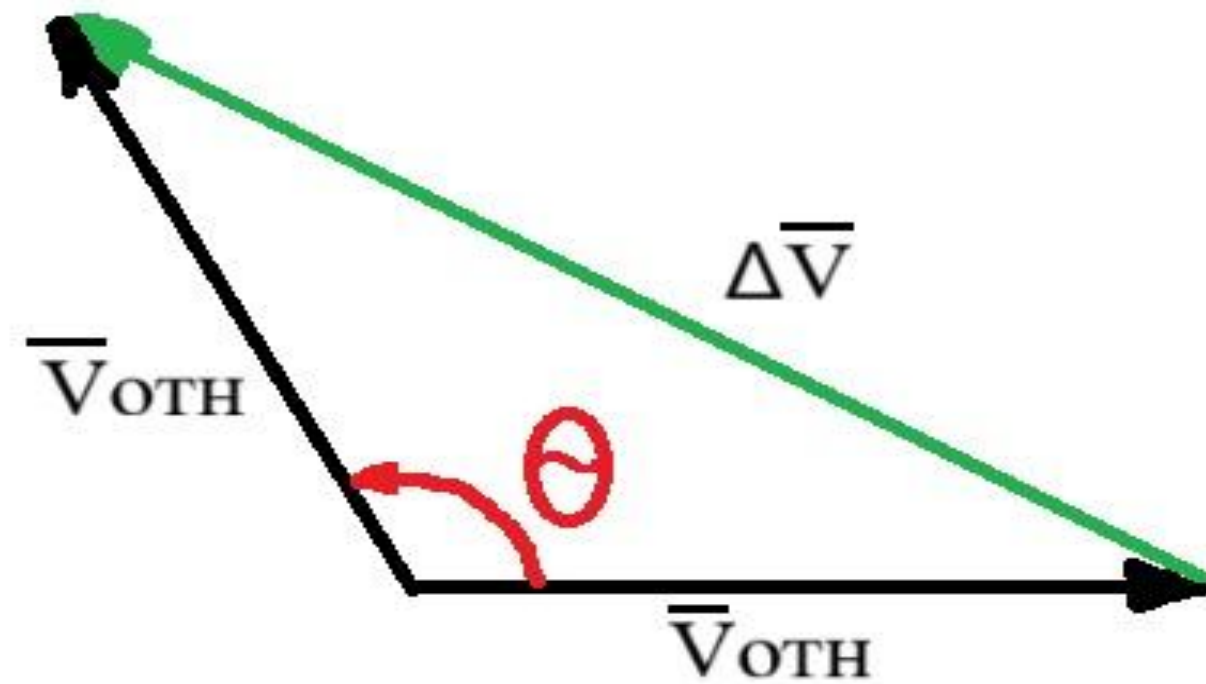
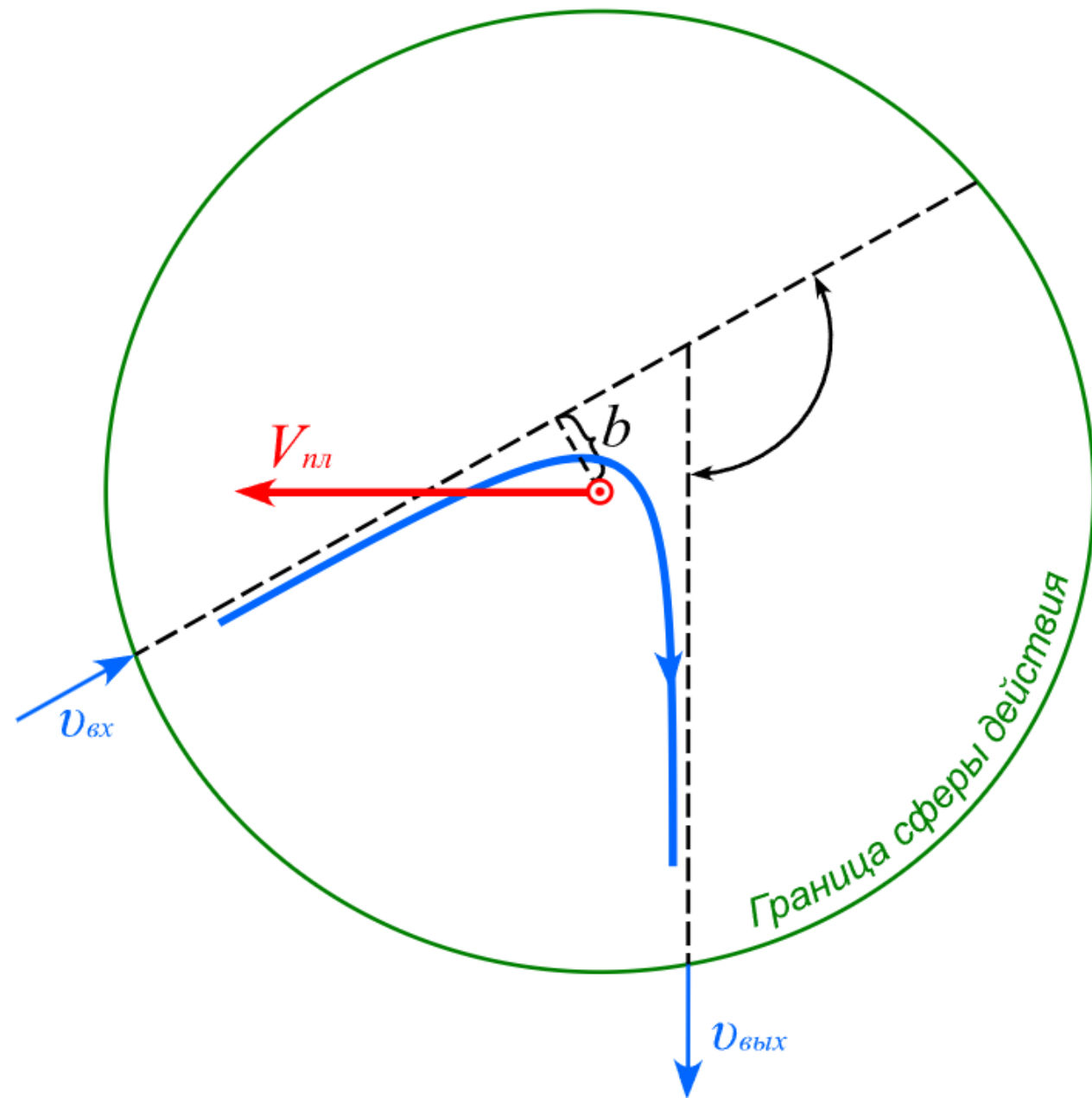
Первый и второй законы Кеплера

Станция вокруг Земли движается по эллиптической орбите по первому закону Кеплера. Земля находится в одном из двух фокусов эллипса.

Второй закон Кеплера (закон площадей) применительно к движению станции и Земли гласит, что радиус-вектор из центра Земли к летящей ракете описывает за равные промежутки времени равные площади.



Гравитационный маневр.



Приращение скорости ΔV можно найти с помощью теоремы косинусов.

$$\Delta v = \sqrt{2v_{отн}^2 - 2v_{отн}^2 * \cos\theta} = v_{отн} * \sqrt{\left(4 * \frac{1 - \cos\theta}{2}\right)} = 2v_{отн} * \sin\frac{\theta}{2}$$

Программная реализация

Программная реализация нашей математической модели была проведена с помощью ЯП **Python**. Мы использовали библиотеки: **Numpy, Matplotlib, Scipy, Pandas, kRPC**

С помощью библиотеки **kRPC** мы собирали данные о полете, по которым строили график. **Numpy** и **Scipy** для сложных вычислений. **Pandas** и **Matplotlib** для построения графиков.

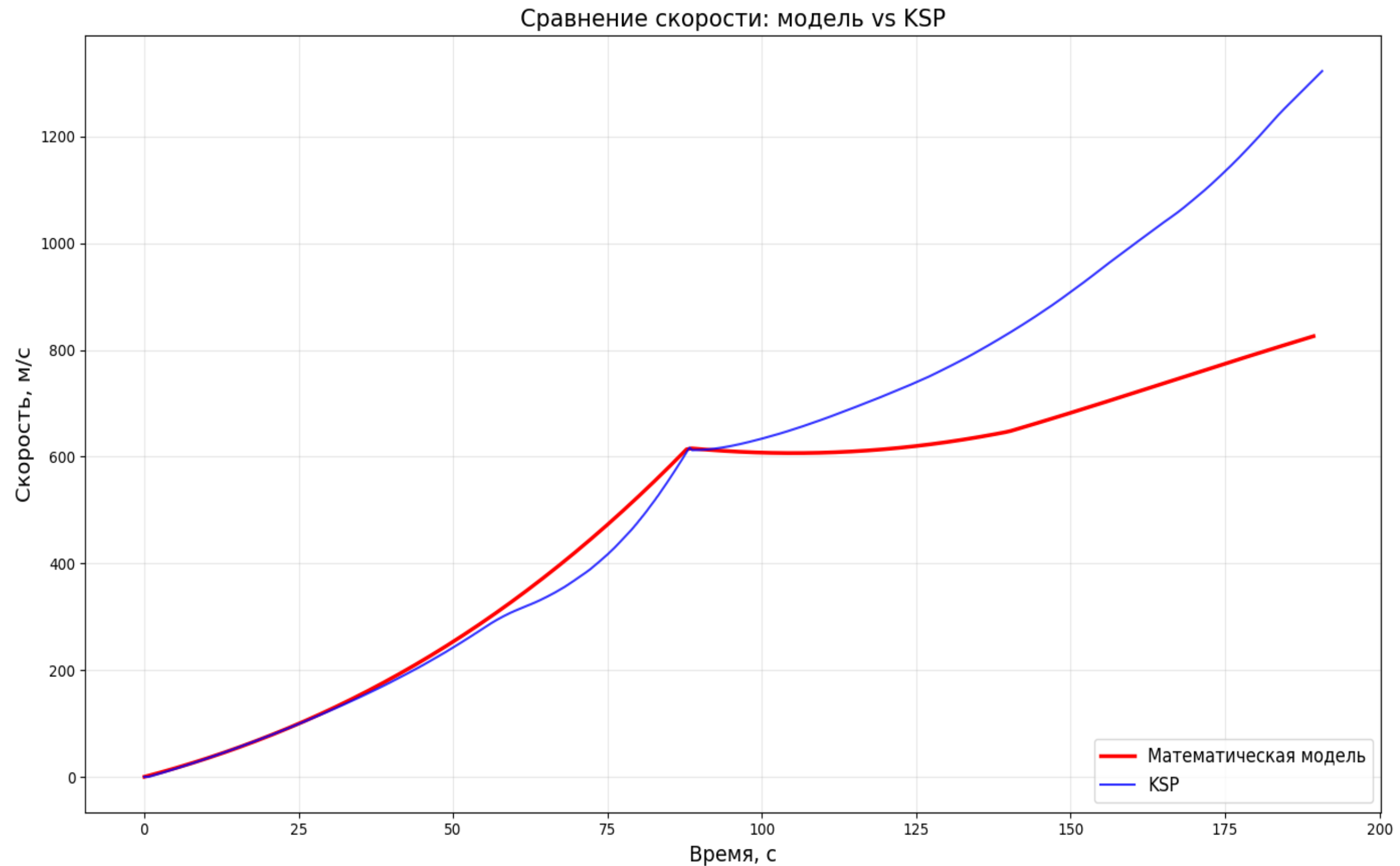
```
# Получение скорости корабля на протяжении полета
while True:
    time = conn.space_center.ut
    speed = vessel.flight(vessel.orbit.body.reference_frame).speed
    time_values.append(time)
    speed_values.append(speed)
    print("Время: {}, Скорость корабля: {} м/с".format(*args: time, speed))

# Проверка условия завершения сбора данных
altitude = vessel.flight().surface_altitude
if altitude > 100000:
    break
sleep(0.1)
```



Ссылка на репозиторий GitHub для просмотра кода

Заключение



Сравнение скорости: модель vs KSP для подъема на высоту 100000м

Выводы

01

Недостатки в расчетах

Наши расчеты не идеальны и в некоторых моментах требуют доработки

03

Приобретение новых знаний

Да, может что-то и не вышло, то теперь мы точно знаем больше о ракетостроении и как это работает

02

Нехватка опыта работы в команде

Не всегда получалось распределить работу равномерно, поэтому исполнители одной задачи иногда менялись

04

Сплочение

Теперь мы знаем больше друг о друге и в следующей командной работе сможем распределить задания, идеально подходящие каждому

Конец