

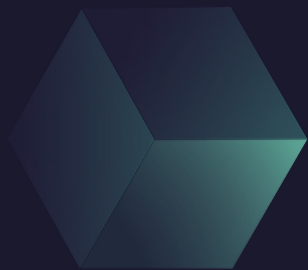


# New Shepard 4

Group: M8O-BB116-24

Students:

Шитов Артём Сергеевич  
Показеев Даниил  
Денисович  
Сорокина Анна  
Сергеевна



# Our Team

Показеев Даниил  
Денисович

тимлид, организатор работы  
коллектива, конструктор ракеты-  
носителя в Kerbal Space Program

Шитов Артём Сергеевич

создатель физической и  
математической моделей,  
составитель отчёта о проделанной  
работе



Сорокина Анна Сергеевна

создатель программной  
составляющей проекта, составитель  
графиков, создатель визуального  
сопровождения проекта

## The Ultimate Goal

Изучить и смоделировать полёт многоразовой космической системы для суборбитальных полётов «New Shepard 4», в частности миссию «Blue Origin NS-16».



## Goal and Tasks

### The Tasks

- Изучить информацию о строении ракетной системы «New Shepard 4» и совершённом полёте в рамках миссии «Blue Origin NS-16».
- Используя определённый ряд физических законов, создать физическую модель полёта.
- По результатам построения физической модели построить математическую модель совершённого полёта.
- Смоделировать совершённый полёт в Kerbal Space Program.
- Сравнить данные, полученные с помощью моделирования полёта в Kerbal Space Program, с составленной математической моделью.
- Подвести итоги выполненной работы и составить отчёт о проделанной работе.





# General Overview

20 июля 2021 года в 09:12, космическая система «New Shepard 4» успешно стартовала с космодрома Launch Site One около города Ван-Хорн в пустыне на западе Техас (USA). В полёт отправились: Джефф Безос, Марк Безос, Уолли Фанк и Оливер Дэмен. Для каждого из них данный полёт являлся первым. Также можно отметить то, что на борту одновременно находились самый молодой (18 лет) и самый старый (82 года) пассажиры космического судна на тот момент.

Ускоритель ракеты совершил посадку на площадку в городе Ван-Хорн, капсула приземлилась там же. Данный полёт один из самых экологичных среди всех полётов и самый экологичный среди запусков, организованных «Blue Origin».





# Space Module Description

- «New Shepard 4» – многоразовая стартовая система высотой 15,9 м и макс. диаметром 3,9 м. Она состоит из двух компонентов, а именно ракеты-носителя (стартовый модуль) и капсулы.
- Стартовый модуль («Booster 4») представляет собой одноступенчатую многоразовую ракету, оснащённую ЖРД BE-3PM, работающем на водороде (горючее) и кислороде (окислитель). Данный двигатель способен развить тягу около 490 кН (уровень моря), 769 кН (вакуум). Ракета-носитель совершает управляемый спуск с помощью использования двигателя (во время спуска тяга приблизительно равна 90 кН) и приземляется на специальную площадку с использованием четырёх посадочных опор (при взлёте они убираются в корпус). Система оснащена самыми современными системами управления и навигации, что позволяет ей точно выполнять запуски и приземления.
- Капсула («RSS First Step») имеет закруглённую коническую форму, объёмом 15 м<sup>3</sup> и предназначена для пассажиров/научных установок, способна вместить в себя до 6 человек. Оснащается системой аварийного спасения и парашютной системой, состоящей из трёх парашютов.



## Crew Capsule

Pressurized crew capsule environmentally controlled for comfort with room for six and the largest windows to have flown in space.

## Ring & Wedge Fins

Aerodynamically designed to stabilize the booster and reduce fuel use on its descent back to Earth.

## Drag Brakes

Deploy from the ring fin to reduce the booster's speed by half on its descent from space.

## Engine

The BE-3 (Blue Engine 3) propels the rocket to space and restarts for a controlled pinpoint landing on the pad. The uniquely throttleable engine slows the booster down to just 8 km/h (5 mph) for landing.

## Aft Fins

Stabilize the vehicle during ascent, steer it back to the landing pad on descent, and guide the rocket through airspeeds of up to Mach 4.

## Landing Gear

All rockets take off, not all rockets land. As a fully reusable rocket, the New Shepard booster uses landing gear that deploys for touchdown.

# Physical Model



$$m(\tau)\vec{a}(\tau) = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i(\tau)$$

Основное уравнение  
динамики поступательного  
движения материальной точки

$$m(\tau)\vec{a}(\tau) = \vec{F}_T + \vec{F}_{\text{тяж}}(h(\tau)) + \vec{F}_{\text{сопр}}(v(\tau))$$

II Закон Ньютона для нашего случая

$$F_{\text{тяж}}(h(\tau)) = G \frac{m(\tau)M}{(R+h(\tau))^2}$$

Функция зависимости силы  
тяжести от времени

$$F_{\text{сопр}}(v(\tau)) = C_f \frac{\rho(h(\tau))v^2(\tau)}{2} S$$

Функция зависимости силы  
сопротивления от времени



# Mathematical Model



$$\frac{d^2}{d\tau^2}x = \frac{F_T}{m_0 - k\tau} - G \frac{M}{(R+x)^2} - C_f \frac{\mu p_0 e^{\frac{-\mu GM}{RT(x)(R+x)^2}x} \left(\frac{d}{d\tau}x\right)^2}{2(m_0 - k\tau)RT(x)} S$$

Уравнение, описывающее движение во время взлета с работающим двигателем

Уравнение, описывающее движение во время взлета с выключенным двигателем

$$\frac{d^2}{d\tau^2}x = G \frac{M}{(R+x)^2} + C_f \frac{\mu p_0 e^{\frac{-\mu GM}{RT(x)(R+x)^2}x} \left(\frac{d}{d\tau}x\right)^2}{2m_i RT(x)} S$$



$$\frac{d^2}{d\tau^2}x = -C_f \frac{\mu p_0 e^{\frac{-\mu GM}{RT(x)(R+x)^2}x} \left(\frac{d}{d\tau}x\right)^2}{2m_d RT(x)} S + G \frac{M}{(R+x)^2}$$

Уравнение, описывающее движение во время снижения

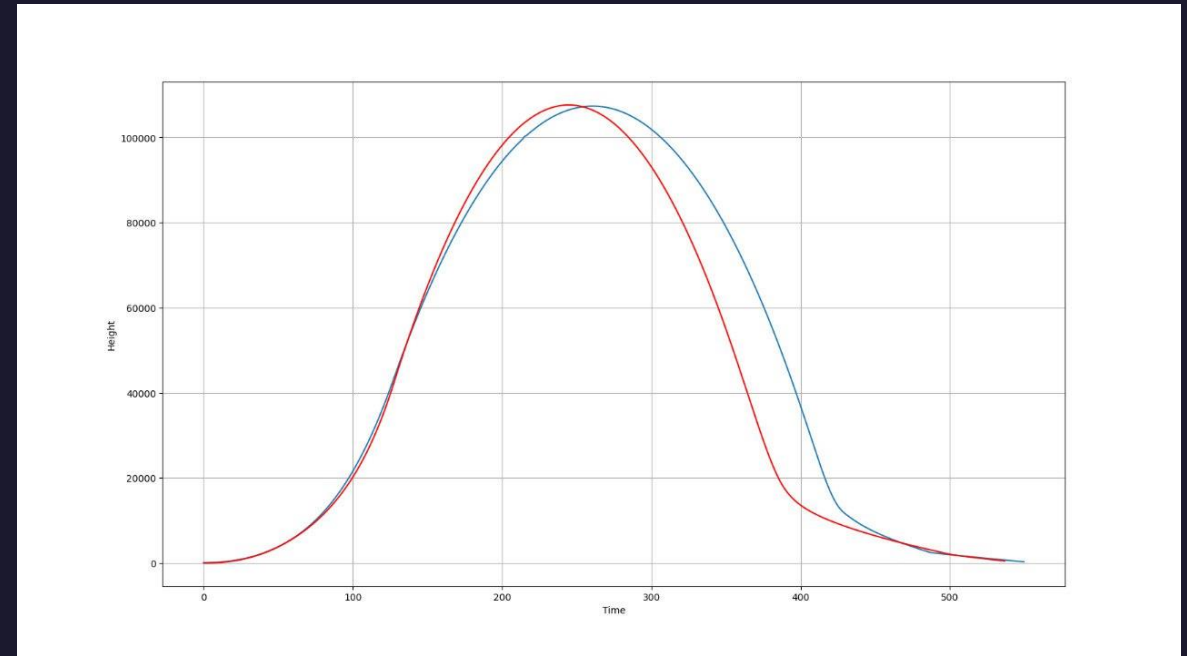


# Practical Part



Используя язык программирования Python и его библиотеки для решения дифференциальных уравнений дискретным путём, мы воссоздали полёт по построенной нами физико-математической модели.

На рисунке изображено сравнение графика высоты согласно расчетам по нашей модели и графика, полученного с помощью Kerbal Space Program.



Kerbal Space Program

Python

Причины расхождения графиков были описаны ранее, в параграфе про погрешность.

Таким образом, мы можем заключить, что наша физико-математическая модель довольно точно описывает миссию «Blue Origin NS-16», но всё же есть небольшая погрешность в связи с некоторыми аппроксимациями и упрощениям, описанными ранее.





Link to our GitHub repository



Thank you for  
the attention.

