**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ**

(национальный исследовательский университет)

Факультет фундаментальной информатики и информационных технологий

Кафедра вычислительной математики и программирования

Проект

«**Запуск Tesla Roadster**»

Команда «TRS»

Состав команды:

Сергеев Александр, группа: М8О-113Б-22

Куликова Алёна, группа: М8О-113Б-22

Чернышева Софья, группа: М8О-113Б-22

Лисняк Александра, группа: М8О-113Б-22

Галкина Софья, группа: М8О-113Б-22

Москва - 2022

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

**ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 3**

**ГЛАВА 2. ОПИСАНИЕ МИССИИ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 4**

**ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 7**

**ГЛАВА 4. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 9**

**ГЛАВА 5. СИМУЛЯЦИИ РАКЕТЫ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 11**

**ГЛАВА 6. МЕДИА \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 12**

**ГЛАВА 7. УЧАСТНИКИ КОМАНДЫ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 13**

**СПИСОК ЗАДЕЙСТВОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 14**

**ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ**

Представим, молодая и перспективная космическая компания, с весомым, даже по меркам главного конкурента современности - SpaceX, бюджетом; скажем, в 2-3 миллиарда долларов. Из этой суммы следует, что благодаря своим разработкам она привлека неплохие инвестиции, не так ли? Но ей необходимо больше - мировое признание, и она точно знает как его заполучить. Она идет на рискованный шаг и решает повторить одну из самых нашумевших космических миссий своего большого брата - тестовый запуск корабля Falcon Heavy, с автомобилем Tesla Roadster на борту. Однако, в руководстве нашей новоиспеченной компании сидят отнюдь не простые ребята, амбиции и стремление к максимальным высотам которых не позволяет подчистую скопировать запуск ракеты какого-то Илона Маска, кончено нет, и потому они приходят к просто гениальному решению - в космос отправится не одна, и даже не полторы машины… в ходе миссии бороздить бескрайние просторы космического мрака отправятся сразу две Tesla Roadster. Без всяких сомнений, компанию ждет успех.

P.s. данный вводный рассказ пропитан иронией, его автор признаёт и уважает все труды Илона Маска

**Цель миссии:**

Повтор на свой лад реальной миссии с тестовым запуском копии космического корабля Falcon Heavy Илона Маска с двумя автомобилями Tesla Roadster на борту.

**Задачи миссии:**

* Запуск и вывод корабля на орбиту Земли
* Сброс автомобилей в открытый космос

**ГЛАВА 2. ОПИСАНИЕ МИССИИ**

В чем заключался смысл этого полета? Как он прошел и что дал компании? Почему вообще было решено запустить в авто в космос и как компания пришла к этому? Наверняка после прочтения введения задались этими вопросами, поэтому мы с радостью на них ответим.

Сама по себе история становления и развития аэрокосмической компании TRS вызывает не просто неподдельный интерес у многих любителей техники и космической фантастики. Вспомните классику, фантастическую книгу Жюля Верная «Из пушки на Луну», в былые времена такое казалось лишь смелыми домыслами. Сегодня самые смелые идеи становятся осязаемой былью.

Если вы решили, что таким экстравагантным способом компания решила увековечить свое имя, то ошибаетесь. На самом деле, у проекта была практическая польза. А то, какую форму обрела реализация, оказалось результатом все того же чувства юмора.

А раз уж наша компания решила утереть нос миссии с запуском Falcon Heavy, имеет место пояснить в чём же заключалось содержание оригинального полёта.

Автомобиль Тесла запустили в космос на самой мощной ракете нового времени Falcon Heavy. Многообещающая операция по покорению космоса, которая выведет землян в далекий космос и подготовит почву для новой космической гонки.

Компания SpaceX, к разработке которой приложил много усилий, средств и знаний Илон Маск, запустила в космос родстер Tesla при помощи новейшего сверхтяжелого ракета-носителя Falcon Heavy.

На самом деле, в космос можно было запустить и подходящих размеров камень, суть бы не изменилась, но стало не так интересно. Итак, целью произведенных манипуляций был эксперимент. Выводила на орбиту и отправляла авто в одиночный полет уже упомянутая выше ракета, которой стоит уделить особое внимание.

Falcon Heavy  — [американская](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%A1%D0%A8%D0%90) [ракета-носитель](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%B0-%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C) [сверхтяжёлого класса](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D1%82%D1%8F%D0%B6%D1%91%D0%BB%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%B0-%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C) с возможностью повторного использования первой ступени и боковых ускорителей, спроектированная и произведённая компанией Space X, является одной из крупнейших ракет-носителей в истории мирового космического ракетостроения. На момент первого запуска — самая грузоподъёмная, мощная и тяжёлая ракета-носитель из находящихся в эксплуатации, и была таковой до запуска в 2022 году [SLS](https://ru.wikipedia.org/wiki/Space_Launch_System). Также Falcon Heavy принадлежит абсолютный рекорд по числу [маршевых двигателей](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%88%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C) (28, в том числе 27 одновременно работающих) среди успешно летавших ракет-носителей.



Рисунок 2.1 - Запуск SpaceX Falcon Heavy (Tesla Roadster)

«Falcon Heavy — одна из тех вещей, которые, на первый взгляд, выглядят просто. Просто берём две первые ступени и используем их как навесные ускорители. На самом деле нет, это безумно сложно и потребовало переработки конструкции центрального блока и массу различного оборудования. Это действительно было шокирующе тяжело перейти с одноблочной на трёх блочную ракету». — Илон Маск*,* на пресс-конференции после первого повторного использования первой ступени [Falcon 9](https://ru.wikipedia.org/wiki/Falcon_9).

Целью миссии было показать всему миру, что ракета способна выводить нужную полезную нагрузку. Также идея состоит в том, чтобы показать, что путешествия людей в космос возможны, что строить ракеты — это не так дорого, частные компании могут разрабатывать и создавать такие ракеты-носители, перевозить на них грузы (вроде Tesla) и сдавать их в аренду государству.

Показ удался. Спорткар пересек орбиту красной планеты и продолжил свой полет (или поездку).

На данный момент космический Tesla Roadster на экстремально высокой скорости отправляется к Марсу.

**ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ**

Итак, в рамках математической модели нашей миссии мы будем учитывать изменение массы Falcon Heavy в зависимости от расхода топлива и отделения от корабля автомобилей, а для упрощения вычислений общей массы будем считать время отделения

топливных баков от основного модуля равным нулю. Также в вычислении будет учтена скорость корабля в зависимости от расхода топлива, вычисляемая по формуле Циолковского.

Характеристическую скорость Falcon Heavy вычислим по формуле Циолковского, которая определяет скорость, которую развивает летательный аппарат под воздействием тяги ракетного двигателя, неизменной по направлению, при отсутствии всех других сил, где I - удельный импульс ракетного двигателя (отношение тяги двигателя к секундному расходу массы топлива), m - масса ракеты, m1 - начальная масса топлива, m2 - масса обеих Tesla Roadster.

) (1)

Представим массу корабля, как линейно-зависимую от времени функцию:

(2)

Пусть k = const, k - расход топлива. Формула расхода топлива будет выглядеть так:

, (3)

где – масса заправленной ракеты, – масса пустой ракеты, – время работы двигателя

– расход двух двигателей есть сумма расходов. Тогда функция массы в текущий момент работы двигателя представима в виде:

(4)

Время выхода на орбиту: 160 сек.

Общее время полета миссии: 300 сек.

Характеристика ракеты:

* 2 двигателя: ЖРД S3 KS-25 “Вектор”
* Расход топлива: 64.7 ед.
* Тяга: 942 кН.
* Уд. импульс: 297 с.

13 топливных баков: Бак Кербодайн S3-7200

* Масса: 40.5 т.

2 автомобиля: Tesla Roadster

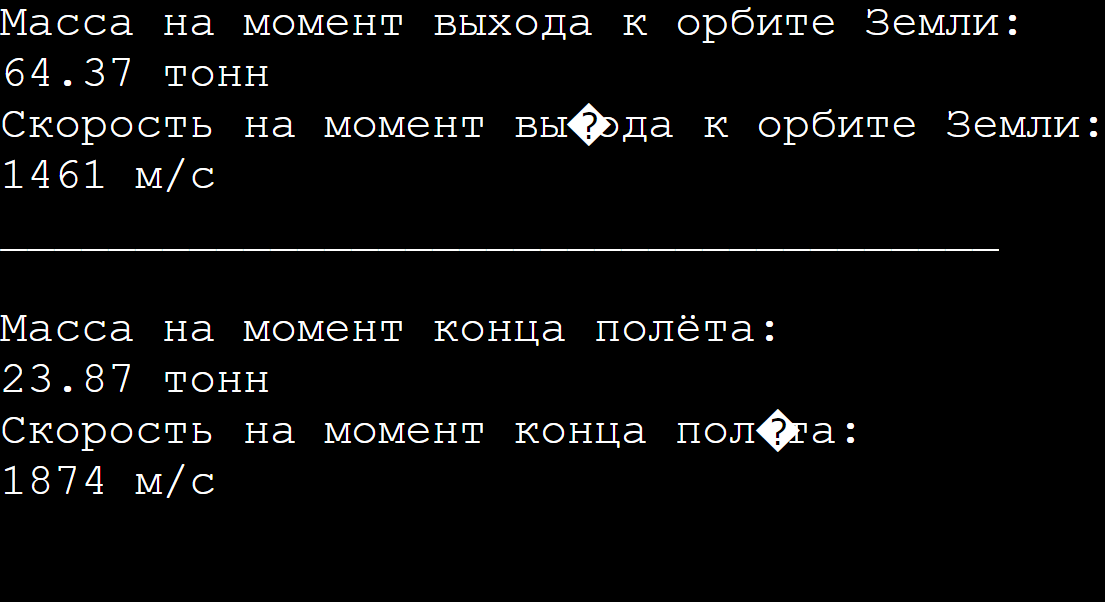
* Масса: 1.395 т.

**ГЛАВА 4. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ**

Ссылка на репозиторий проекта с реализацией кода на языке Си: https://github.com/wynnox/TRS\_PKT/blob/main/ksp.c

Опираясь на мат.модель и задействованные в ней формулы, наша программа производит расчет текущей массы корабля и его характеристической скорости, для двух рассматриваемых этапов:

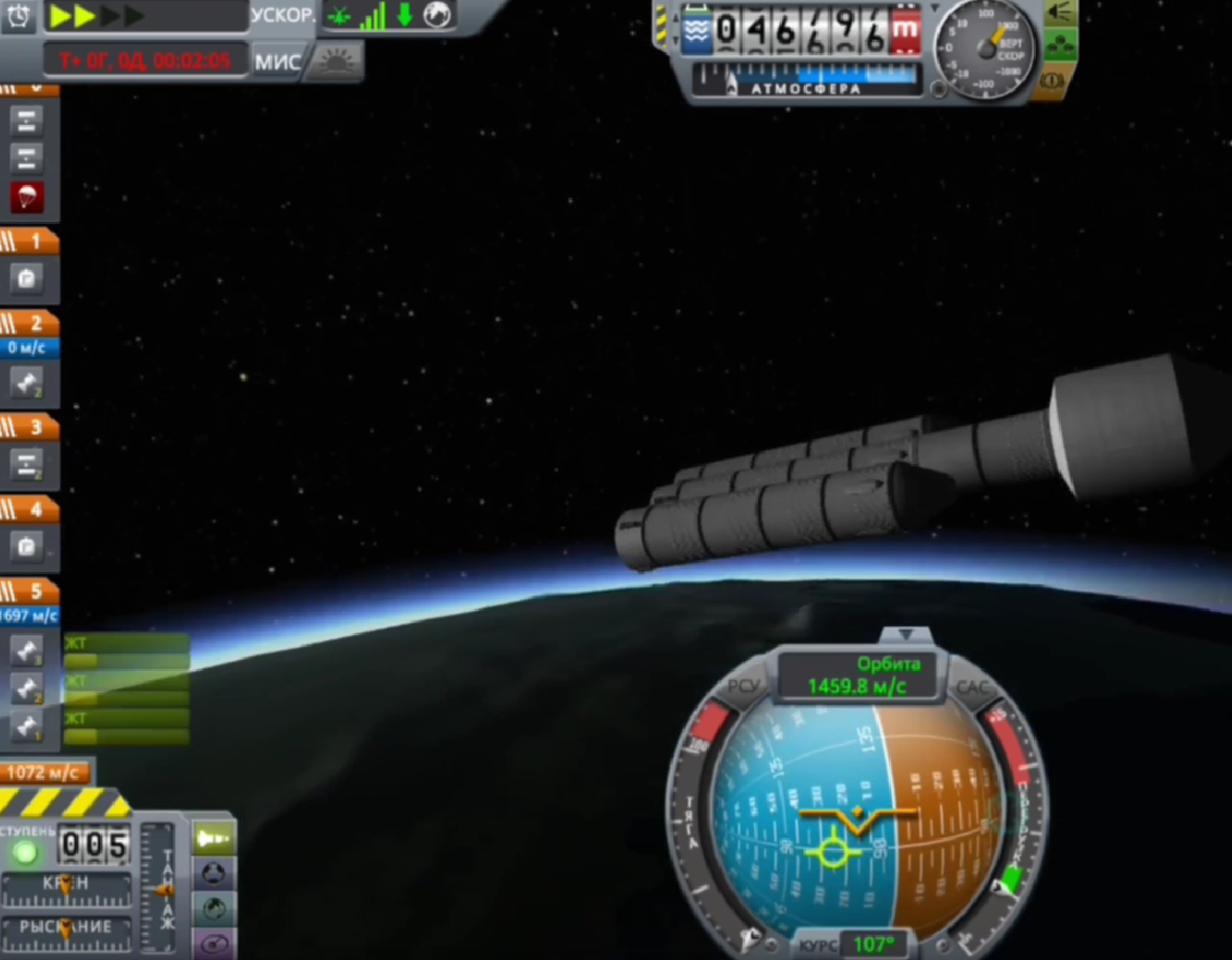
* Момент выхода Falcon Heavy на орбиту.
* Конец миссии, на этапе которого от корабля остается только модуль с двумя Tesla Roadster и одним топливным баком.

Также при программной реализации мат.модели, ввиду неполной точности вычислений, было принято решение учитывать погрешность общей массы топливных баков в формуле расчёта хар.скорости, и взять эту погрешность равной 35 тоннам. Данную погрешность мы обосновываем тем фактом, что мы не берём массу топливного бака как массу топлива, которое в нём находится. Таким образом, под переменной погрешности мы подразумеваем массу пустых топливных баков.

**Рисунок 3.1 -** Результат работы программы

Сравним показатели хар.скорости с данными полёта в KSP для двух учитываемых этапов:

Этап 1:



Этап 2:



Вычисленные значения близки к показателям в KSP, а значит мат.модель себя оправдала.

**ГЛАВА 5. СИМУЛЯЦИЯ РАКЕТЫ**

Для того, чтобы наглядно продемонстрировать полет были добавлены моды: MechJeb (автопилот) и Starman’s Tesla Roadster (автомобили), моды были установлены из интернета и помещены в папку KSP Game Data. Корабль выходит на орбиту, которая находится на высоте 80 км, ограничение его ускорения составляет 30 м/с^2, для того, чтобы уменьшить расход топлива, преодолевая сопротивление атмосферы. Ракета состоит из трех ступеней, на орбите остается лишь главное содержимое - 2 теслы.

Во время реализации, поставленной задачи мы столкнулись с трудностью: корабль получился массивным, плохоманеврируемым, шатался в разные стороны. Проблема была устранена благодаря стяжкам, для лучшей фиксации.

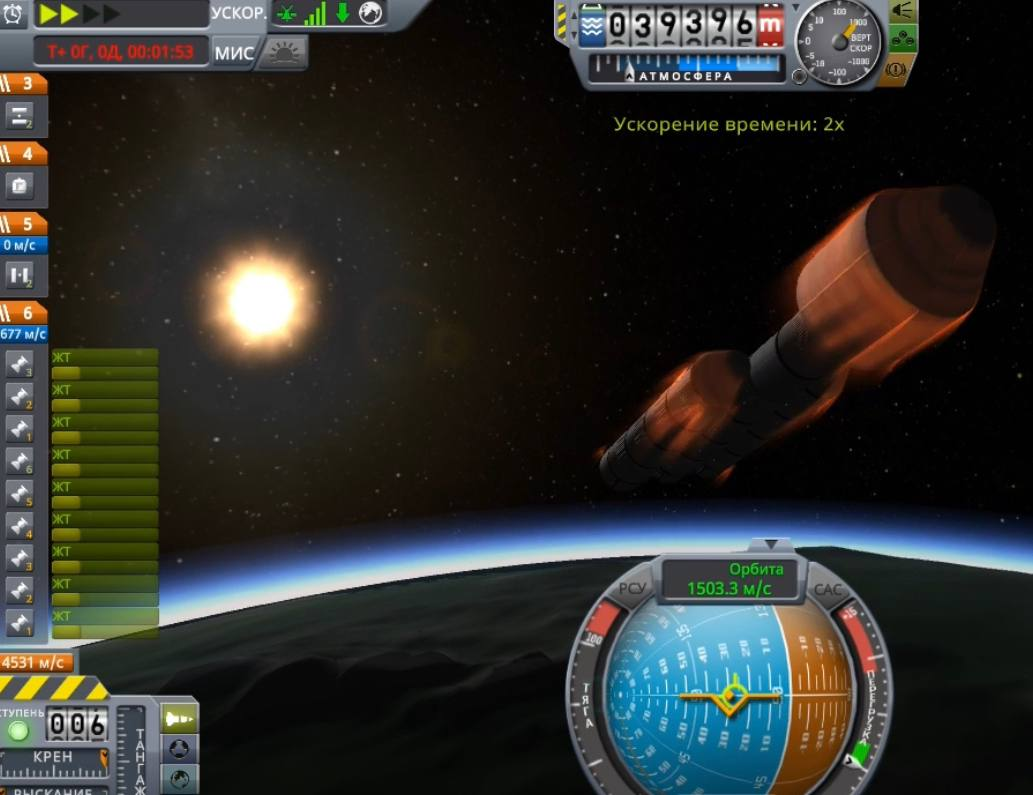


Рисунок 5.1 - полетFalcon Heavy (Tesla Roadster)

**ГЛАВА 6. МЕДИА**

Ссылка на репозиторий проекта с медиачастью: <https://github.com/wynnox/TRS_PKT/blob/main/media>

**ГЛАВА 7. УЧАСТНИКИ КОМАНДЫ**

1. Сергеев А. А. — Тимлид, программист общего кода и мат. модели.
2. Лисняк А. В. — Главная по моделированию в KSP.
3. Галкина С. В. — Ответственная за презентацию и полет ракеты, копирайтер.
4. Чернышева С. П. — Автор истории полёта и программист общего кода.
5. Куликова А. П. — Программист общего кода.

**СПИСОК ЗАДЕЙСТВОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. <https://youtu.be/US2yLCeH-uI> - выход на орбиту.
2. <https://www.playground.ru/kerbal_space_program/file/kerbal_space_program_mechjeb2_v2_12_0_0-1170605> - мод автопилота.
3. <https://forum.kerbalspaceprogram.com/index.php?/topic/173876-16x-starmans-tesla-roadster/> - мод с автомобилями Tesla.
4. <https://starcatalog.ru/oborudovanie/sverhtyazhelaya-raketa-falcon-heavy-rekordsmen-po-gruzopodemnosti.html> - про оригинальную миссию.
5. Интересные лекции по ВАиРКТ, с сопутствующим конспектом.