



Luna-25

Исследовательская миссия Луна-25

Выполнили:

Группа М8О-116БВ-25

Салюков Н. А.

Сагиров Т. И.

Конкин А. М.

Щеголев Т. Д.



Цели и задачи проекта: Восстановление Луны-25

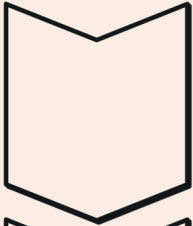
Цель работы

Успешный полёт и приземление космического аппарата «Луна-25», потерпевшего крушение, путём всестороннего анализа и устранения выявленных недочётов.

Основные задачи

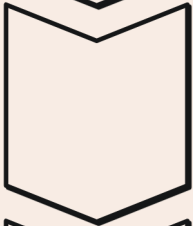
- Изучение материалов полёта «Луна-25»
- Анализ причин крушения и устранение недочётов
- Создание физической и математической модели полёта
- Разработка ракеты-носителя для доставки спутника
- Написание автопилота и проведение тестового запуска
- Сравнение результатов различных сценариев полёта

Детальный план реализации проекта



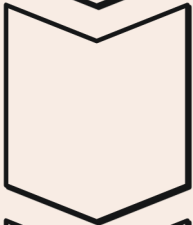
Моделирование в KSP

Создание реалистичной модели ракеты-носителя в игре Kerbal Space Program.



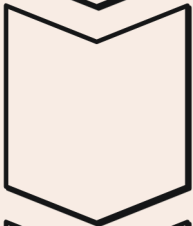
Теоретическая модель

Составление математической и физической моделей траектории полёта.



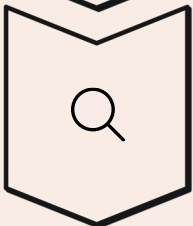
Разработка автопилота

Написание автопилота с использованием kRPC для управления ракетой и сбора данных.



Визуализация данных

Построение графиков на основе собранных и теоретических данных.



Сравнительный анализ

Сопоставление результатов автопилота, матмодели и реальных данных.

Хронология и цель миссии "Луна-25"

«Луна-25» была амбициозным проектом, направленным на изучение лунного южного полюса.

Запуск (11.08.2023)

Космический аппарат «Луна-25» успешно стартовал и был выведен на траекторию перелёта к Луне.

Нештатная ситуация (19.08.2023)

При выполнении манёвра по переходу на предпосадочную орбиту произошёл сбой, приведший к отклонению от расчётных параметров.

1

2

Выход на орбиту Луны (16.08.2023)

Аппарат успешно вышел на орбиту искусственного спутника Луны, что стало важным этапом миссии.

3

4

Крушение

Из-за нерасчётной орбиты автоматическая станция прекратила существование в результате столкновения с поверхностью Луны.

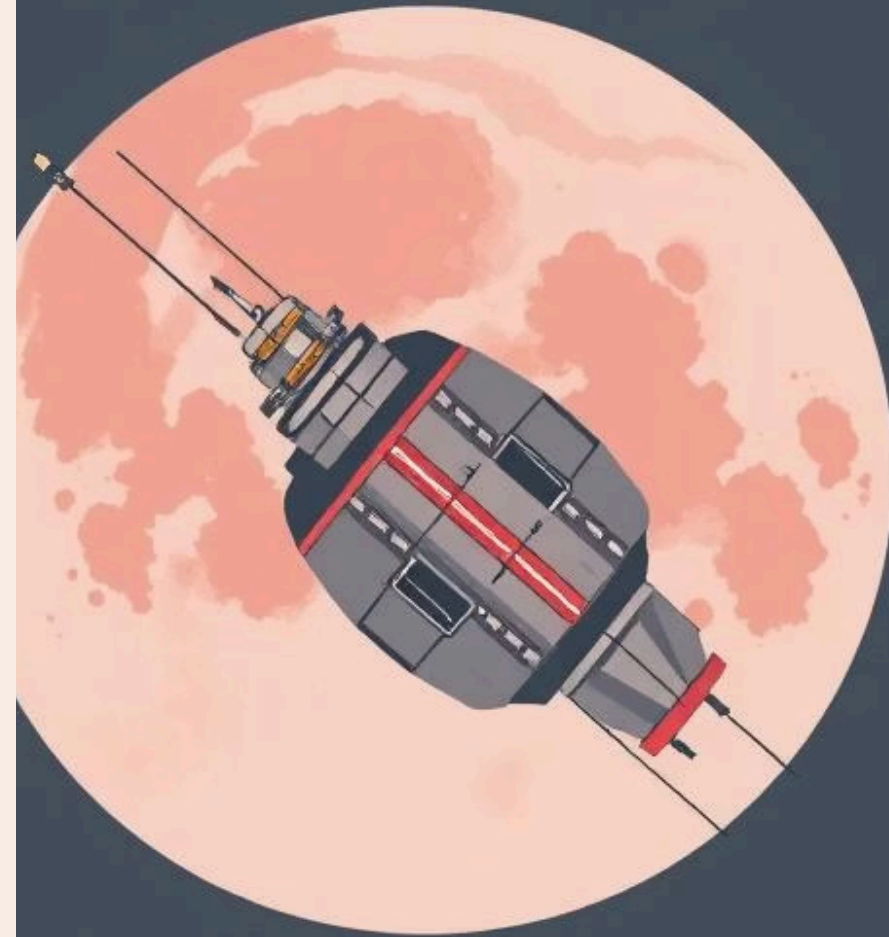


Схема полёта и исследовательские цели

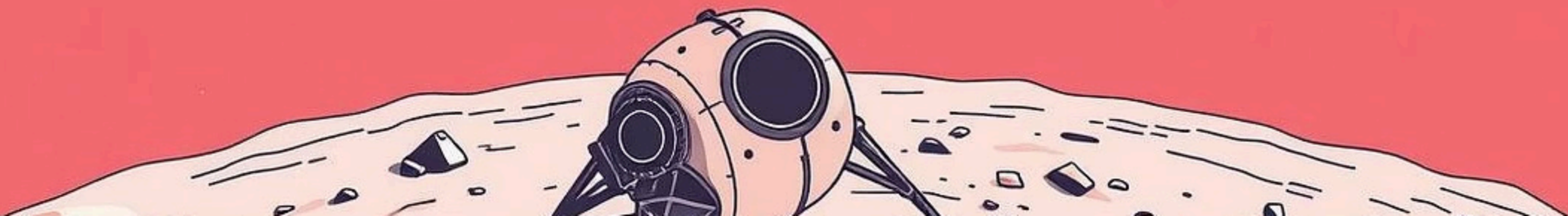
Сценарий посадки

Посадка «Луна-25» предполагала использование сценария последних советских миссий: движение по низкой полярной орбите, затем торможение и вертикальный спуск. Это первая миссия в полярный регион Луны (вблизи 70°), что сравнимо с широтами Норильска или антарктической станции «Новолазаревская».

Цели после посадки

- Изучение состава верхнего слоя лунного грунта.
- Поиск летучих космических соединений.
- Поиск воды на лунной поверхности.
- Изучение взаимодействия верхних слоев Луны с солнечным ветром.





Предполагаемая причина неудачи "Луны-25"

Хотя точная причина крушения не установлена, наиболее вероятная гипотеза указывает на сбой в бортовом комплексе управления.

1

Нештатное функционирование БКУ

Проблема связана с невключением блока акселерометров в приборе БИУС-Л (блок измерения угловых скоростей).

2

Проблема с приоритетами команд

Возможное попадание в один массив данных команд с различными приоритетами исполнения прибором.

3

Нулевые сигналы акселерометров

Из-за случайного распределения команд в БКУ поступали нулевые сигналы с акселерометров, что привело к некорректной работе.

4

Недостаточное тестирование

Наиболее вероятно, что проблема возникла из-за недостаточного тестирования алгоритмов управления, отвечающих за орбитальные манёвры и подготовку к посадке.

Путь к успеху: Предотвращение будущих сбоев

Для предотвращения повторения подобных инцидентов и успешной реализации миссии мы предлагаем:

1

Тщательное тестирование алгоритмов

Проведение многократных испытаний алгоритмов управления в различных условиях.

2

Моделирование всех возможных сценариев

Исключение всех потенциальных случаев сбоя работы систем.

3

Повышение надёжности

Обеспечение безошибочной посадки зонда на поверхность Луны.



Технические характеристики станции

Полная масса КА	1750 кг
Масса зонда	30 кг
Энергопотребление аппарата	100 Вт
Общая мощность солнечных батарей	810 Вт
Предположительное время существования на Луне	1 год

Физическая модель

$$M(t) = M_0 - \gamma t$$

Изменение массы ракеты

Введем основные обозначения.
Пусть M_0 – изначальная масса КА,
 $M(t)$ – это функция массы ракеты на секунде t . Примем расход топлива в секунду за константу γ .

$$g = G \frac{M(\tau)}{(R + h)^2}$$

Влияния силы тяжести

Из закона всемирного тяготения выведем формулу гравитационного ускорения, зависящую от высоты h .

- гравитационная постоянная,
- радиус планеты

$$p(h) = p_0 \cdot e^{\frac{-\mu g(h)h}{RT}}$$

Расчет атмосферного давления

Воспользуемся барометрической формулой, так как давление падает с высотой экспоненциально.

p_0 – изначальное атмосферное давление (10⁵ Па), μ – молярная масса воздуха, R – универсальная газовая постоянная

Помимо давления атмосферы, будет также влиять и ее сопротивление

$$\rho = \frac{p(h)}{RT}$$

Плотность воздуха

- плотность воздуха на высоте , - абсолютная температура газа

$$F_{\text{atm}} = \frac{1}{2} \rho v^2 C S$$

Сопротивление атмосферы

- плотность атмосферы, - коэффициент обтекаемости, - площадь поперечного сечения

Физическая модель

$$I = I_0 - \alpha \frac{p(h)}{p_0}$$

$$\alpha = (I_0 - I_{\text{atm}})$$

$$\dot{m} = \frac{I}{g_0 F}$$

$$F = F_0 - \beta \frac{p(h)}{p_0}$$

$$\beta = (F_0 - F_{\text{atm}})$$

Удельный импульс

I_0 - удельный импульс в вакууме,
 I_{atm} - удельный импульс при давлении в одну атмосферу

Массовый расход

\dot{m}_0 - массовый расход в вакууме

Уравнение силы тяги

F_0 - сила тяги в вакууме, F_{atm} - сила тяги при давлении в одну атмосферу

Физическая модель

$$M(t)\frac{dv}{dt} = F(t) - M(t)g(h) - \frac{1}{2}\rho(h)v^2C_dS$$

**Основное
дифференциальное
уравнение,
описывающее движение
ракеты**

$$0 \leq \chi(t) \leq 1$$

**Введем функцию
контроля силы тяги**

$$F(t) = \chi(t)F_{\max}$$

**Тогда сила тяги
выглядит так**

**По итогу получим
следующее
уравнение:**

$$M \frac{dv}{dt} = \chi F_{\max} - Mg(h) - F_d$$

Полет в KSP: Аналоги планет

Для симуляции миссии Луна-25 в игре Kerbal Space Program мы используем Kerbin в качестве аналога Земли и Mun в качестве аналога Луны. Их основные характеристики:

Kerbin (аналог Земли)

- Начальная точка: Отправная точка для миссий.
- Радиус: 600 000 км
- Ускорение свободного падения на поверхности: 9.81 м/с²
- Эксцентриситет орбиты: 0 (круговая)
- Радиус орбиты Муны вокруг Кербина: 140 000 000 км
- Сидерический период: 426 дней

Mun (аналог Луны)

- Цель приземления: Пункт назначения для посадки.
- Масса: 10^{20} кг
- Форма: Сферическая
- Радиус: 200 000 м
- Ускорение свободного падения на поверхности: 1.63 м/с²
- Эксцентриситет орбиты: 0 (круговая)
- Большая полуось орбиты: 12 000 000 км

Программная реализация полета в KSP

Одной из ключевых задач проекта является создание программного обеспечения для автоматического управления космическим кораблем в симуляторе Kerbal Space Program, воспроизводящего миссию Луна-25.



Симуляция миссии "Луна-25"

Основной акцент сделан на программной реализации полета от Кербина (аналога Земли) до Муны (аналога Луны), максимально приближенной к реальной траектории.



Выбор системы управления kOS

Для создания автономной системы управления был интегрирован модификатор kOS (Kerbal Operating System), позволяющий писать скрипты для автоматизации всех этапов полета.







Использование языка Kerboscript

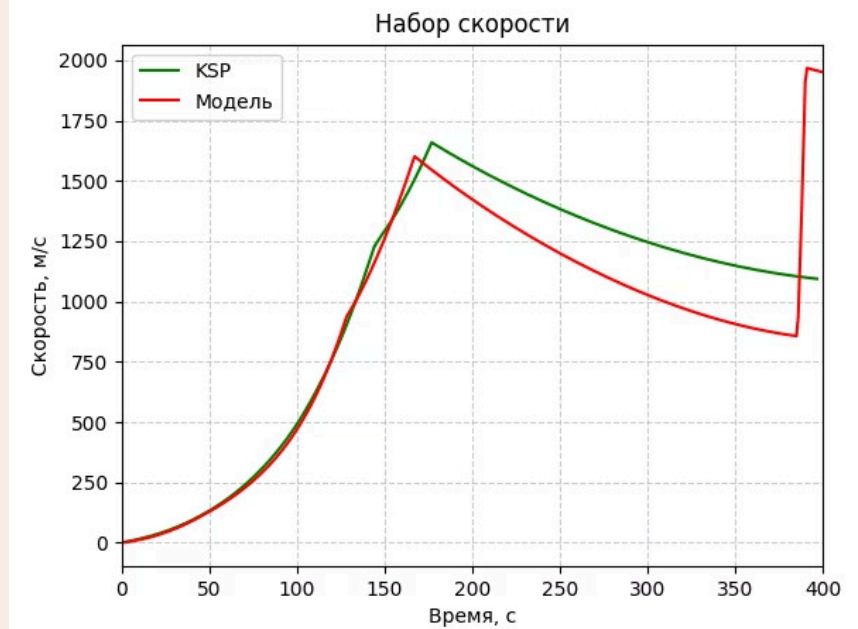
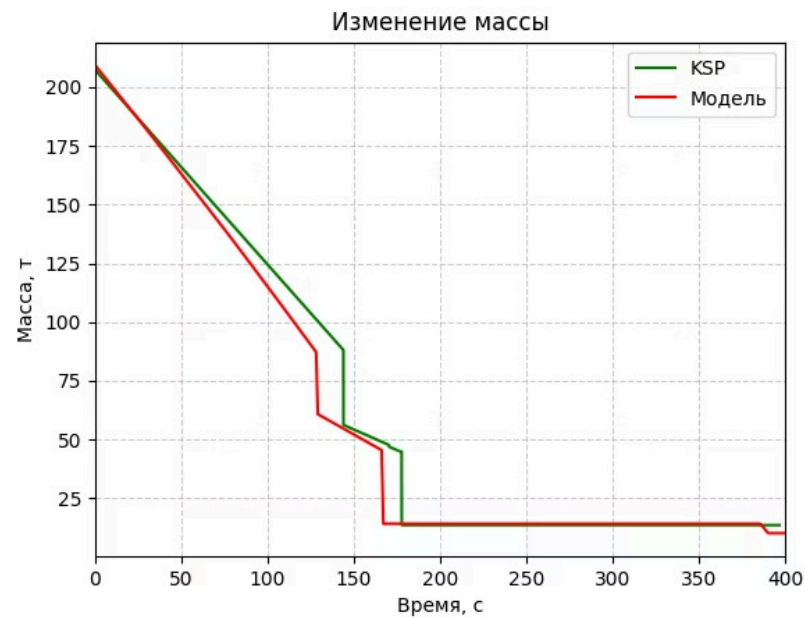
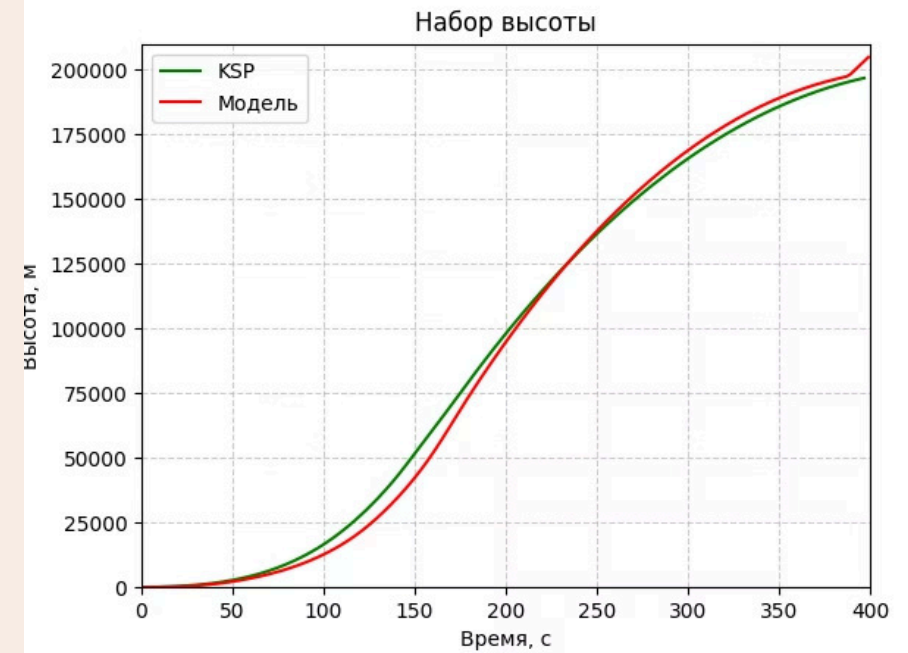
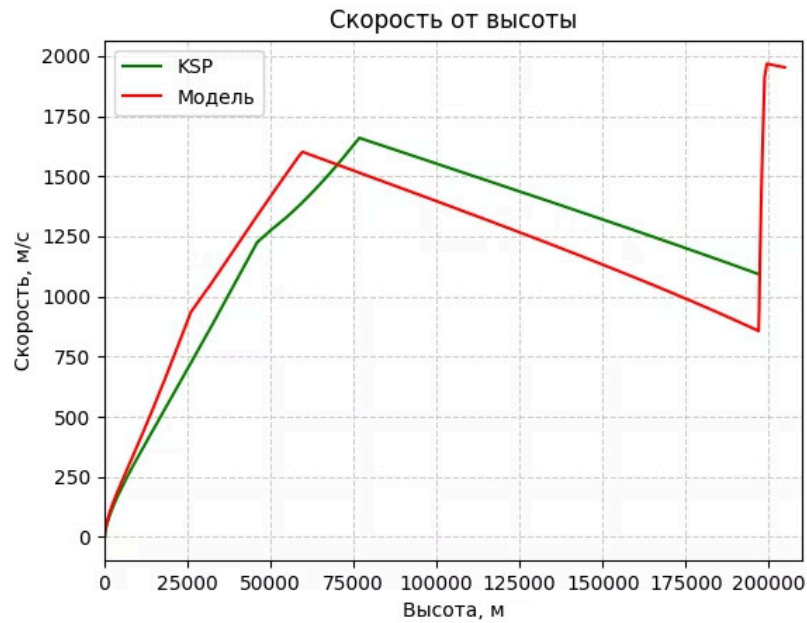
Разработка логики полета, маневров и процедур посадки выполняется на специализированном языке сценариев Kerboscript, разработанном для kOS.

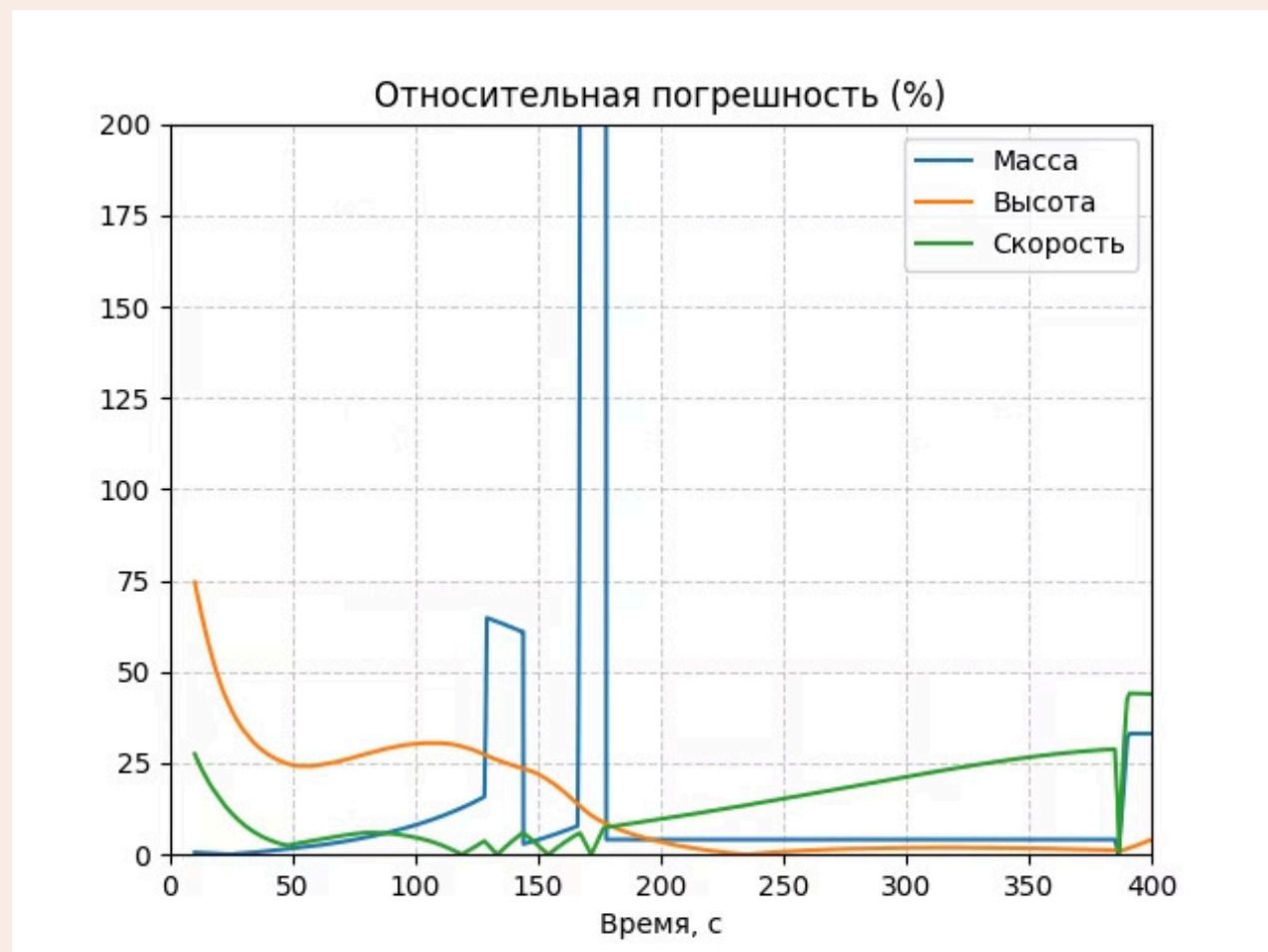
Фазы полетного алгоритма в KSP

Алгоритм полета был разделен на 5 основных фаз, объединенных в единый исполняемый скрипт, который последовательно вызывает соответствующие функции:

		
Предстартовая подготовка и вертикальный набор высоты	Гравитационный разворот и выход в космос	Циркуляризация (выход на круговую орбиту)
Проверка всех систем, запуск двигателей и набор начальной высоты для преодоления атмосферы.	Выполнение маневра для постепенного наклона траектории и достижения стабильной орбиты.	Корректировка орбиты для придания ей идеально круглой формы вокруг Кербина.
		
Трансферный маневр к Муне	Торможение и мягкая посадка	
Запуск двигателей в нужный момент для перехода на траекторию перехвата Муны.	Финальное снижение скорости и точная посадка на поверхность Муны.	

Сравнение полученных графиков





Построение ракеты

“Союз-2.16”

Для построения максимально точной копии ракеты “Союз-2.16” будем использовать следующие компоненты в Kerbal Space Program:

- Защитный обтекатель AE-FF2 (2,5 м.)
- Большой улучшенный гиродин (2 шт.)
- Топливный бак Рокомакс X200-8
- ЖРД RE-I5 “Шкипер” (5 шт.)
- Отделитель (размер 1,5)
- Топливный бак Рокомакс X200-32
- Переходник для топливных баков FL-A215 (5 шт.)
- Переходник для топливных баков FL-A151L
- Топливный бак FL-T800 (2 шт.)
- ЖРД S3 KS-25 “Вектор”
- Топливный бак FL-C1000 (4 шт.)
- Топливный бак FL-TX1800 (8 шт.)
- Продольный отделитель “Гидра” (8 шт.)
- Продольный отделитель TT-38K (шт.)
- Распорки EAS-4
- Законцовка AV-T1



Использованные элементы блока “Луна-25”



- Отделитель (размер 1.5) (2 шт.)
- ЖРД LV-909 “Терьер”
- Внешний бак R-4 “Пельмень” (10 шт.)
- Внешний бак R-12 “Пончик”
- Внешний бак R-11 “Багет” (2 шт.)
- Посадочные мини-опоры LT-05 (4 шт.)
- Восьмигранные стойки
- Аккумуляторные батареи Z-200
- Структурные панели SP-06
- Фотоэлектрическая панель OX-STAT-XL (4 шт.)
- Структурная панель SP-12
- ЖРД 48-7S “Искра”
- ЖРД LV-1 “Муравей” (4 шт.)
- Прожектор Mk1 (4 шт.)
- Верхнее освещение Mk1 (4 шт.)
- CompoMax Radial Tubeless
- Термометр “АйГорячо”
- Гравиметр GRAVMAX
- Сейсмический акселерометр “Тектон”
- Барометр “Атмодав”
- Малый встраиваемый гироскоп
- Стрелы магнитометра
- Коммунотрон 16

Фаза 1: Атмосферный подъем

В этой фазе активируется система стабилизации (SAS выключается, управление переходит к скрипту). Основная задача – выполнить гравитационный разворот. Это позволяет сэкономить топливо, используя гравитацию планеты для поворота вектора скорости.

Угол тангажа рассчитывается динамически в зависимости от высоты.

- До 20 км: плавный наклон от 90 до 60 градусов.
- От 20 до 30 км: наклон до 45 градусов.
- Выше 30 км: удержание угла 45 градусов для набора горизонтальной скорости.



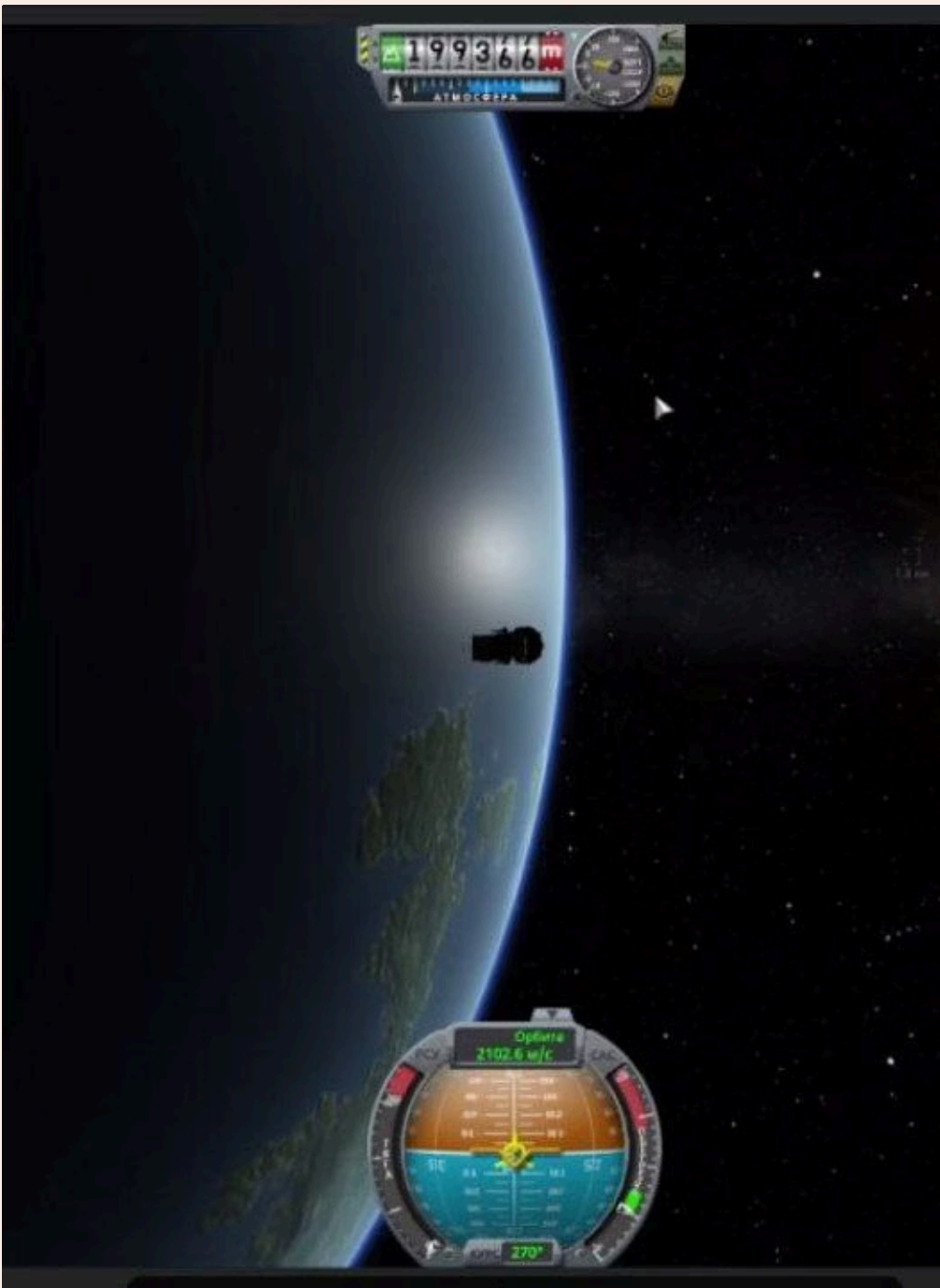
Фаза 1 и 3: Выход на орбиту

После отделения первой ступени работает центральный блок.

Двигатель работает до тех пор, пока апоцентр (высшая точка орбиты) не достигнет целевых 200 км. На высоте 70 км (граница атмосферы) автоматически сбрасывается головной обтекатель.

После достижения апоцентра двигатели выключаются, и корабль движется по инерции. В апоцентре начинается маневр циркуляризации.

В отличие от расчета маневровых узлов, данный алгоритм использует упрощенную схему "burn-until": корабль разгоняется в проградном направлении (по вектору движения), пока перигентр (низшая точка) не поднимется до целевой высоты.



Фаза 4: Трансфер к Муне

Это наиболее сложная навигационная часть. Для попадания в сферу влияния Муну необходимо начать разгон в строго определенный момент.

Для этого была написана функция, которая рассчитывает фазовый угол между кораблем и Муной. Маневр начинается только тогда, когда угол между вектором на корабль и вектором на Муну составляет расчетное значение (около 100-110 градусов для данной орбиты).

Как только окно для запуска найдено, включается двигатель, поднимая апоцентр орбиты до высоты орбиты Муну (11 400 км).



Фаза 5: Посадка

Функция FindX непрерывно решает физическое уравнение, рассчитывая необходимую тягу () для полной остановки корабля ровно на поверхности (высота 0, скорость 0). В расчете учитываются:

- Текущая масса корабля ();
- Текущая гравитация () на данной высоте;
- Вертикальная скорость () и истинная высота радара.

Корабль ориентируется двигателем против вектора скорости (lock steering to srfretrograde), выпускает шасси и регулирует дроссельную заслонку согласно значению, возвращаемому функцией FindX, обеспечивая мягкое касание поверхности.



Итог

Мы успешно воссоздали условия реальной миссии "Луна-25" и провели полет без крушения в симуляторе. Однако важно отметить, что наши условия были значительно проще реального мира: от упрощенной физики (например, барометрическое уравнение) до идеального, бесперебойного контроля космического аппарата.