



Московский Авиационный Институт
(Национальный исследовательский университет)

Проект по курсу
«Введение в авиационную и ракетно-космическую технику»

I семестр

“Миссия «Чандраян-3»”

Студенты: Евтенко Н.А., Гаранжа Д. В., Кауров Д. Н., Горбунов П. Д.

Группа: М8О-101Б-23

Руководители: Тимохин М. Ю., Кондратцев В. Л.

Дата: _____ **Оценка:** ____

Подпись преподавателя: _____

Оглавление.	
Московский Авиационный Институт	1
(Национальный исследовательский университет)	1
Проект по курсу	1
Введение.	3
Тема:	3
Цель:	3
Задачи миссии:	3
Состав команды и роли её участников:	3
Глава 1.	4
Краткая предыстория:	4
Миссия Чандраян-1:	4
Миссия Чандраян-2:	4
Миссия Чандраян-3:	5
Планирование и разработка «Чандраян-3»:	6
Научные цели и задачи реальной миссии:	7
Манёвры и полёт ракеты LVM3:	8
Устройство ракеты (LVM3) из реальной миссии:	10
Посадочный модуль «Викрам»:	14
Глава 2.	15
Переход на орбиту Луны	16
Глава 3.	18
Симуляция в KSP:	18
Программные вычисления:	21
Глава 5.	25
Анализ и сравнение данных:	25
Причины расхождения графиков:	25
Заключение.	26

Введение.

Тема:

Чандраян-3 – первая миссия Индии, достигшая поверхности Луны.

Цель:

Сравнить реальный полёт «Чандраян-3» с моделированным полётом из KSP (Kerbal Space Program).

Задачи миссии:

1. Изучить доступную информацию о реальном полёте.
2. Создать оригинал или приближённую копию ракеты в KSP как у Индийской миссии.
3. Реализовать запуск ракеты в KSP.
4. Обработать данные из KSP
5. Сделать физико-математическую и компьютерную модель полёта ракеты.
6. Проанализировать полученные данные и сделать вывод.

Состав команды и роли её участников:

Название команды: «А у Индии получилось ...»

- Евтенко Никита Александрович (101Б) - Тимлид, ответственный за создание отчёта и видео презентации.
- Гаранжа Данила Вячеславович (101Б) - ответственный за любые вычисления (физик).
- Кауров Данил Николаевич (101Б) - ответственный за моделирование в Kerbal Space Program (KSP).
- Горбунов Павел Дмитриевич (101Б) - ответственный за поиск достоверной информации и информатик.

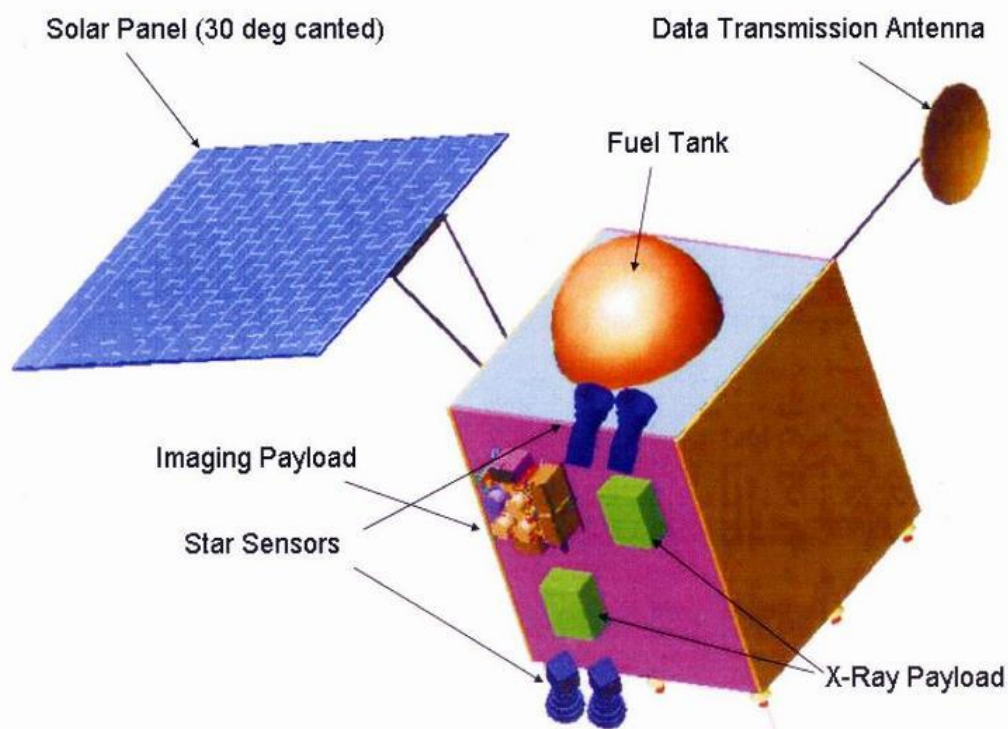
Глава 1.

Краткая предыстория:

Бывший премьер-министр Индии Атал Б. В. объявил о лунной миссии в честь Дня независимости страны 15 августа 2003 года. Программа «Чандраян», насчитывает уже три миссии:

Миссия Чандраян-1:

Зонд «Чандраян-1» запустили 22 октября 2008 года. Он работал в качестве искусственного спутника и вел исследования с окололунной орбиты. Зонд проработал менее одного года вместо запланированных двух лет. Связь с ним потеряли 29 августа 2009 года из-за выхода из строя системы термозащиты. Однако ISRO назвала миссию успешной. «Чандраян-1» успел передать на Землю более 70 тысяч изображений лунной поверхности, поделиться информацией о возможном наличии водяного льда, магния, алюминия и других металлов на спутнике Земли.



Миссия Чандраян-2:

Миссию неоднократно переносили, начиная с 2013 года, в том числе из-за неудачных запусков российских аппаратов. В итоге «Чандраян-2» запустили 22 июля 2019 года. Аппарат успешно вывели на лунную орбиту 20 августа. Однако 6 сентября при попытке прилунения с ним потеряли связь. В итоге посадочная платформа «Викрам» и

луноход «Прагьян» разбились, а орбитальный аппарат продолжил работать. Он собирает научные данные. Как ожидается, «Чандраян-2» проработает 7,5 года. Стоит отметить, что «Чандраян-3» создали именно по образцу предшественника.



Миссия Чандраян-3:

14 июля 2023 года Индия объявила об успешном запуске ракеты-носителя LVM3 со станцией «Чандраян-3» на борту с собственного космодрома имени Сатиша Дхавана на острове Шрихарикота. Он прошел успешно. Ракета вывела станцию на орбиту, после чего «Чандраян-3» начал автономный полет к Луне. Индийская лунная станция по пути к земному спутнику совершила пять маневров по подъему орбиты. Такое поэтапное приближение к Луне было обусловлено низкоэнергетическим подходом ISRO к лунным миссиям.

Уже 7 августа «Чандраян-3» вышел на лунную эллиптическую орбиту. Спустя десять дней зонд достиг круговой полярной орбиты Луны высотой 100 км. Затем «Чандраян-3» начал подготовку к отделению двигательного модуля, а также к спуску посадочного модуля «Викрам» и лунохода «Прагьян» на Луну. Модули станции отделились от него 18 августа, после чего посадочный начал самостоятельный путь

к Луне. Сначала он вышел на орбиту 113×157 км, а потом снизился до 25 км.

22 августа ISRO начало готовиться к посадке «Чандраян-3», которую наметили на 23 августа, около 15:00 по московскому времени. Резервная дата была назначена на 27 августа, хотя агентство планировало выполнить посадку с первого раза.

В качестве места посадки был выбран район Южного полюса Луны, расположенный на 69,37 градусов южной широты и 32,35 градусов восточной долготы. Предыдущие миссии на спутник не достигали более низких широт.

23 августа в 15:15 по московскому времени начался спуск модуля к лунной поверхности. На высоте около 100 км запустили этап «жесткого торможения»: двигатели работали, чтобы замедлить падение, а аппарат двигался почти параллельно поверхности Луны. На высоте 10 км началась стадия «точного торможения». Будучи на высоте около 800 м над поверхностью, аппарат принял вертикальное положение и начал снижаться. Станция успешно достигла лунной поверхности в 15:33.

Планирование и разработка «Чандраян-3»:

Успешное завершение миссии "Чандраян-3", разработанной Индийской организацией космических исследований (ISRO), является значительным достижением в истории индийских космических исследований. Эта миссия, запущенная 14 июля 2023 года, отмечает новую эру в исследовании Луны и демонстрирует технологические возможности Индии в космической сфере.

Разработка "Чандраян-3" была направлена на устранение технических и операционных проблем, с которыми столкнулась миссия "Чандраян-2". Основное внимание уделялось усовершенствованию систем навигации, управления и посадки. Инженеры и ученые ISRO провели тщательный анализ и модернизацию, чтобы обеспечить успешную мягкую посадку на Луну.

Ключевой особенностью миссии было проведение научных экспериментов на поверхности Луны. "Чандраян-3" был оснащен современными научными инструментами, которые позволили провести глубокий анализ лунного грунта и окружающей среды, расширяя наше понимание Луны. Эти исследования важны не только для научного

сообщества, но и для планирования будущих миссий на Луну, включая пилотируемые полеты.

Успех "Чандраян-3" подтвердил статус Индии как важного участника международного космического сообщества. Эта миссия демонстрирует способность Индии к самостоятельной разработке и реализации сложных космических миссий и способствует дальнейшему развитию космических технологий в стране.

В целом, "Чандраян-3" стал важной вехой в развитии космических исследований Индии, показывая её способность к инновациям и укрепляя её позиции в глобальном космическом сообществе. Эта миссия также подчеркивает важность исследования космического пространства для лучшего понимания нашей Вселенной и подготовки к будущим исследовательским миссиям.

Научные цели и задачи реальной миссии:

1. Исследование лунной поверхности:

Основная задача – получение подробных данных о геологическом строении Луны, включая её минералогию и топографию. Это позволит уточнить наши знания о лунной коре и мантии.

Особое внимание уделяется полярным регионам Луны, где предполагается наличие воды или ледяных отложений. Исследования этих регионов могут дать ключ к пониманию ресурсов Луны и их потенциального использования.

2. Использование данных для будущих миссий:

Полученные данные будут критически важны для планирования последующих миссий на Луну, включая возможные миссии с участием человека.

Информация, собранная в ходе миссии "Чандраян-3", поможет ученым и инженерам лучше понять условия на Луне, что необходимо для разработки стратегий долгосрочного пребывания человека на лунной поверхности.

3. Сбор и анализ образцов:

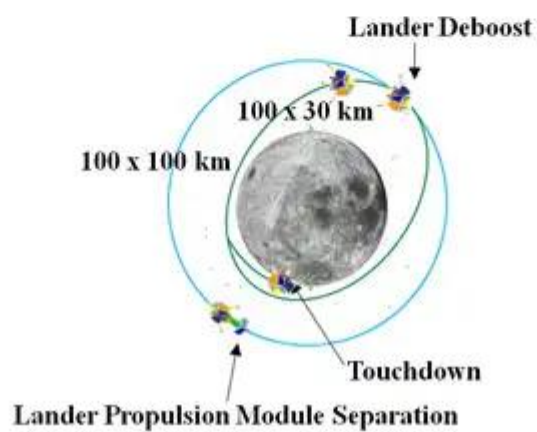
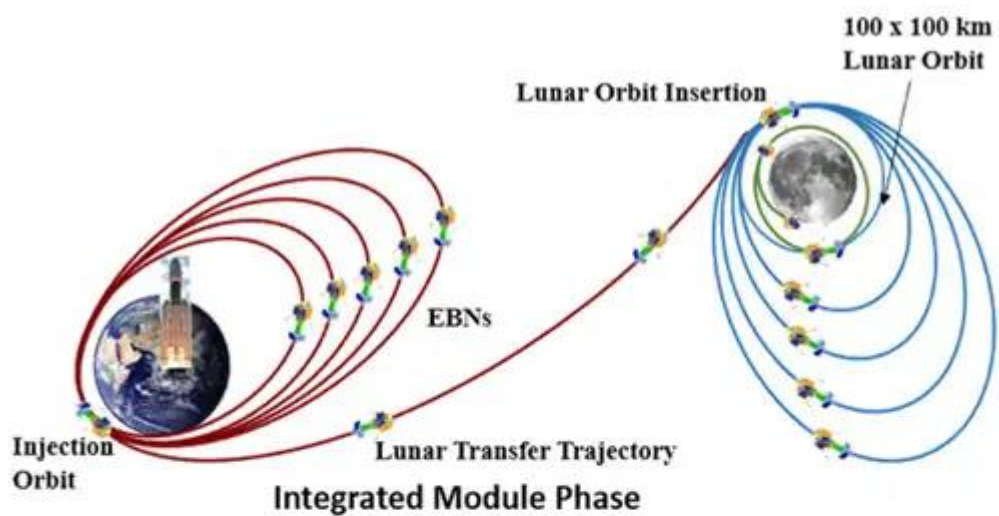
Миссия предполагает сбор образцов лунного грунта для последующего анализа. Это поможет уточнить химический и минералогический состав лунной поверхности, а также расширить понимание процессов, происходивших на Луне в прошлом.

Анализ этих образцов даст ученым возможность лучше понять историю Луны, её эволюцию и взаимодействие с космической средой.

4. Выполнить удачную посадку на поверхность Луны.

Манёвры и полёт ракеты LVM3:

Маневры при приближении к Земле: 1	15 июля 2023 года	173 km × 41,762 km
Маневры при приближении к Земле: 2	17 июля 2023 года	226 km × 41,603 km
Маневры при приближении к Земле: 3	18 июля 2023 года	228 km × 51,400 km
Маневры при приближении к Земле: 4	20 июля 2023 года	233 km × 71,351 km
Маневры при приближении к Земле: 5	25 июля 2023 года	236 km × 127,603 km
Транслунная инъекция	31 июля 2023 года	288 km × 369,328 km
Маневры при приближении к Луне: 1 (Выход на лунную орбиту)	5 августа 2023 года	164 km × 18,074 km
Маневры при приближении к Луне: 2	6 августа 2023 года	170 km × 4,313 km
Маневры при приближении к Луне: 3	9 августа 2023 года	174 km × 1,437 km
Маневры при приближении к Луне: 4	14 августа 2023 года	150 km × 177 km
Маневры при приближении к Луне: 5	16 августа 2023 года	153 km × 163 km
Маневры по выводу посадочного модуля из орбиты: 1	18 августа 2023 года	113 km × 157 km
Маневры по выводу посадочного модуля из орбиты: 2	19 августа 2023 года	25 km × 134 km
Посадка	23 августа 2023 года	



Устройство ракеты (LVM3) из реальной миссии:

Ракета-носитель оснащается двумя новыми трёх сегментными твёрдотопливными ускорителями нового образца (S200), разработанными Космическим центром им. Викрама Сарабая, которые закрепляются по бокам первой ступени и обеспечивают всю тягу на старте и в первые минуты полёта ракеты-носителя до запуска первой ступени.



Диаметр ускорителя составляет 3,2 м, высота — 25 м, сухая масса — 31,3 т, каждый ускоритель вмещает 207 т топлива на основе НТРВ. Пиковая тяга ускорителя на уровне моря достигает 5150 кН, средняя тяга на уровне моря -3578 кН. Суммарная средняя тяга в вакууме двух ускорителей составляет 9316 кН. Удельный импульс ускорителя - 227 с на уровне моря и 274,5 с в вакууме.

Сопло двигателя с помощью электрогидравлических приводов отклоняется на $5,5^\circ$ от центральной оси в двух направлениях, обеспечивая контроль вектора тяги по тангажу и рысканию.

Совместное отклонение сопел двух ускорителей обеспечивает контроль вращения. Небольшие баки с гидравлической жидкостью для приводов расположены снаружи ускорителей.

Время работы ускорителей составляет 130 секунд, спустя 149 секунд после старта ракеты-носителя происходит их отсоединение от первой ступени с помощью пиротехнических механизмов, после чего ускорители отводятся в стороны с помощью шести маленьких твёрдотопливных двигателей, расположенных в носовой и задней части.

Первая ступень носит название L110. Диаметр ступени — 4 м, высота — 17 м (21,3 м вместе с промежуточной секцией). Состоит из двух алюминиевых топливных баков, которые способны вместить до 110 т компонентов топлива: несимметричного диметилгидразина (горючее) и тетра оксида диазота (окислитель).



На ступень установлены 2 улучшенных жидкостных ракетных двигателя Vikas, позволяющие ступени развивать тягу в 1598 кН в вакууме, с удельным импульсом 293 с. Двигатели используют регенеративное охлаждение циркуляцией топлива, что позволило улучшить удельный импульс и его весовые характеристики по сравнению с предыдущими ракетами. Каждый двигатель может отклоняться от центральной оси индивидуально, позволяя обеспечивать контроль вектора тяги во всех плоскостях.

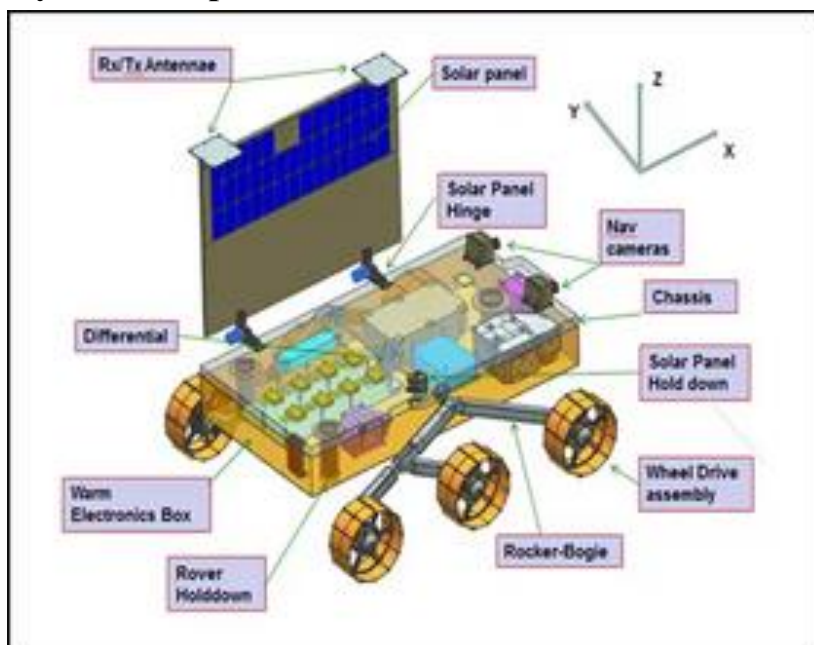
Старт ракеты-носителя обеспечивается только за счёт тяги твердотопливных ускорителей, зажигание двигателей первой ступени происходит только на 110 секунде полёта, за 20 секунд до завершения работы ускорителей. Двигатели первой ступени работают в течение 200 секунд, после чего происходит расстыковка первой и второй ступени.



C25 D- Stage on Test Stand

Верхняя ступень является увеличенной версией третьей ступени ракеты-носителя GSLV Mk.II и носит название C25 и вмещает до 27 т компонентов топлива - жидкого водорода (горючее) и жидкого кислорода (окислитель), с рабочими температурами $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно. Диаметр ступени составляет 4 м, длина — 13,5 м. Оборудована самым мощным индийским криогенным ЖРД CE-20 с тягой 186 кН и удельным импульсом 443 с в вакууме.

Луноход «Прагьян»:



Характеристики:

Вес: 26 кг

Размер: $0,9 \times 0,75 \times 0,85$ м

Мощность: 50 Вт

Скорость: 1 см/с (36 м/ч)

Запланированная продолжительность работы: около одного лунного дня (~14 земных суток)

На луноходе установлены два прибора:

рентгеновский спектрометр APXS,

предназначенный для изучения элементного состава реголита и камней вокруг места посадки

лазерный спектроскоп LIBS, использующийся для определения химического и минералогического состава газов, выделяющихся при воздействии лазера на поверхностные породы.

14 июля 2023 года Индия запустила новый исследовательский зонд «Чандраян-3» также с луноходом «Прагьян» на борту. По конструкции и



характеристикам второй луноход «Прагьян» полностью аналогичен первому «Прагьяну» в прошлой миссии.

23 августа 2023 года успешно состоялась мягкая посадка миссии «Чандраян-3» с луноходом «Прагьян» на борту в области Южного полюса Луны.

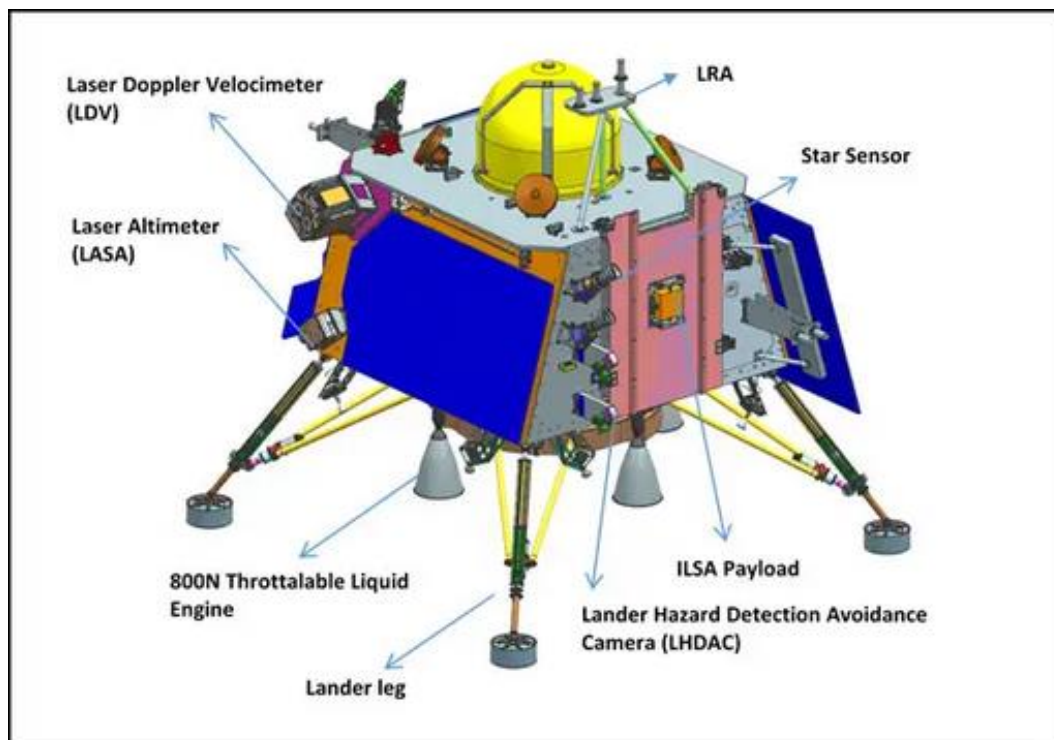
24 августа 2023 года луноход «Прагьян» спустился с посадочной платформы на поверхность Луны. Спуск прошел успешно, двухнедельное исследование естественного спутника началось. Индийская организация космических исследований (ISRO) опубликовала кадры, запечатлевшие исторический момент спуска, примерно днем позже.

29 августа 2023 года луноход «Прагьян» подтвердил наличие на спутнике Земли серы, также в лунном грунте были выявлены сера и ряд металлов – железо, кальций, хром и другие, их удалось обнаружить при помощи лазерного спектрометра.

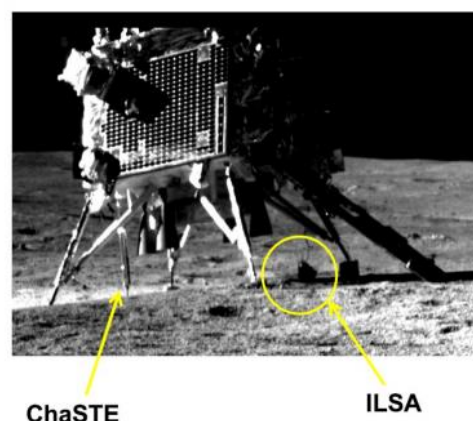
Луноход «Прагьян» успешно выполнил все поставленные задачи и готовится к лунной ночи. 2 сентября 2023 года луноход был переведен в спящий режим. Если луноход сможет пережить лунную ночь, то, как ожидается, 22 сентября 2023 года он возобновит работу на поверхности Луны. Луноход не смог пережить лунную ночь и на связь больше не вышел.

Пройденное на Луне расстояние составило 101,4 метров.

Посадочный модуль «Викрам»:



Викрам переносил в себе луноход и научные приборы, которые измеряют тепловые свойства грунта, плотность плазмы вблизи поверхности, сейсмическую активность и расстояние между Землей и Луной. Все эти приборы используют энергию, вырабатываемую боковыми солнечными панелями. Непосредственно для передачи результатов экспериментов и состояния космического аппарата на Землю посадочный модуль использует антенну X-диапазона, при этом орбитальный двигательный модуль будет



служить ретранслятором, а орбитальный аппарат «Чандраян-2» - его резервным вариантом. Как многим уже известно Викраму удалось успешно прилуниться. Он совершил мягкую посадку в районе кратера Симпелий 23 августа 2023 года. Это была первая успешная посадка Индии на Луне и первая посадка человечества на отдалённую сторону Луны.

Москва, 2023

Глава 2.

Инженерно-физические расчёты:

Перед нами стоит задача вывода ракеты за пределы орбиты Земли. Для построения физической модели необходимо будет воспользоваться следующими формулами и законами:

Формула для расчета расхода топлива за единицу времени:

$$\mu = \frac{M_0 - M_i}{t_i}$$

M_0 - начальная масса ракеты,

M_i - масса ракеты после выработки топлива,

t_i - время работы двигателей.

Формула для расчета изменения массы ракеты:

$$M_i = M_0 - \mu t$$

M_i - масса ракеты на t секунде после запуска двигателей 0 ступени,

M_0 - начальная масса ракеты,

t_i - расход топлива

Второй Закон Ньютона:

$$\vec{F}_T + \vec{F}_\Pi = M(t) \vec{a}$$

\vec{F}_T - сила тяги $\overrightarrow{\text{const}}$ для каждой ступени

\vec{F}_Π - сила тяжести (притяжения)

Далее мы будем использовать данный закон для выведения формул ускорений по осям Ох и Оу

Формула расчета высоты в определенный момент времени:

$$h = h_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

t - время движения тела

$$h = h_0 + v_{0y} + \frac{a_y}{2}$$

a_y - ускорение по оси Оу за 1 секунду,

h_0 - начальная высота на каждой секунде,

v_{0y} - начальная скорость на каждой секунду по оси Оу

Выведенные формулы ускорения для каждой из осей:

$$a_{0y} = \frac{F_T}{M_T} \sin(\alpha_t) - g$$

$$a_{0x} = \frac{F_T}{M_T} \sin(\alpha_t)$$

M_t - масса ракеты на t секунде после запуска двигателей 1 ступени

Формула скорости на каждой секунде:

$v_{0y} = v_0 \sin(\alpha_t) + a_{0y}t$ - начальная скорость на каждой секунде по оси Oy

$v_{0x} = v_0 \sin(\alpha_t) + a_{0x}t$ - начальная скорость на каждой секунде по оси Ox

$$v = \sqrt{v_{0y}^2 + v_{0x}^2} - \text{общая скорость на каждой секунде}$$

Переход на орбиту Луны

Заметим, что в апоцентре разница между скоростью Чандраян-3 и скоростью Луны будет равна Δv (из предыдущего пункта). Другими словами, мы бы пересекли сферу влияния с земли с нашей скоростью Δv обозначим её v_2 . Перенесем нашу систему отсчета на Луну. Теперь мы знаем с какой мы скоростью приближаемся к поверхности Луны. Далее нужна скорость, с которой мы будем двигаться, когда приблизимся к поверхности луны на расстояние x км.

Для нахождения необходимой скорости нам понадобится следующая формула:

$$v_1^2 - v_2^2 = 2\mu\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

r_1 - высота над поверхностью Луны на которую планируем выйти.

$$r_1 = x + r_m$$

v_1 — скорость при сближении с поверхностью Луны на расстояние равное x .

$$v_1 = \sqrt{2\mu \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + v_2^2}$$

v — скорость необходимая для выхода на круговую орбиту вокруг Луны заданной высоты x .

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

r - высота над поверхностью Луны на которую планируется выход.

$$r = x + r_m$$

Δv — скорость, на которую нужно ускориться в обратном направлении (которую нужно сбросить).

$$\Delta v = v - v_1$$

$\mu = 4.9048695 * 10^{12} \frac{\text{м}^3}{\text{с}^{-2}}$ — гравитационный параметр для Луны.

r_2 — сфера влияния Луны 2 429 559 м.

Глава 3.

Симуляция в KSP:

Для воссоздания полета в игре Kerbal Space Program сначала необходимо воссоздать похожую модель ракетоносителя LWM3 и лунохода Прагъян. В стандартном наборе Kerbal Space Program отсутствуют детали ракеты, задействованной в нашей миссии. Поэтому, необходимо установить необходимый пакет дополнений, позволяющих добиться необходимой задачи по воссозданию ракеты.

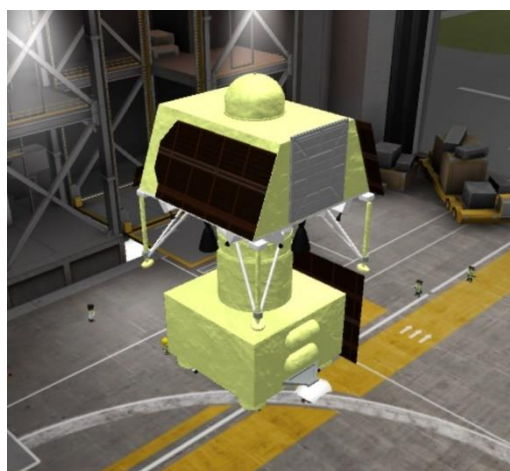
Scan является удобным менеджером установки различных модов для KSP. С его помощью можно удобно и быстро устанавливать всевозможные модификации нашей компьютерной игры. Файл -exe устанавливается в директорию игры под названием соответствующим названием самой игры.

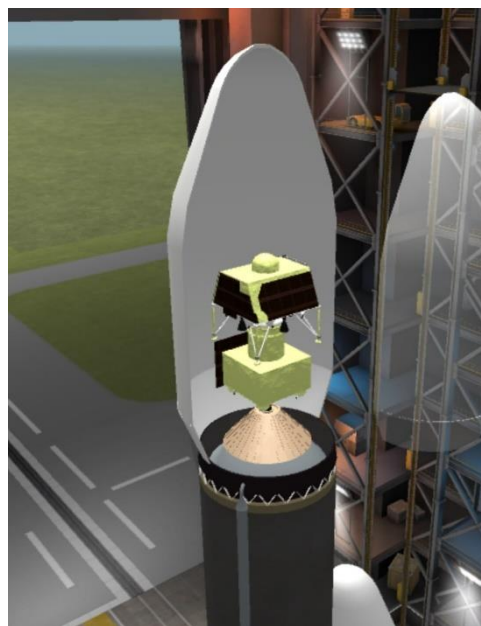
С помощью Scan устанавливаем необходимый мод Realism Overhall. Данный мод включает в себя Mechjeb 2, позволяющий задавать параметры для автопилота, который содержит гибкий функционал для управления полетом. С помощью Mechjeb 2 полеты становятся гораздо легче и точнее.

Также нужно скачать моды, дающие возможность взаимодействовать с KSP с помощью интерпретируемого языка Python. Так, мы сможем получать данные о полете, непосредственно из самой игры. Для установки необходимо также перейти в Scan и написать в окне строке поиска kRPC, и установить сразу оба предлагаемых мода: kRPC и kRPC.Mechjeb.

Последними штрихами по установке различных дополнений станут 2 файла, в которых и содержатся наборы с необходимыми деталями для воссоздания реалистичной ракеты Chandrayaan-3.

Ниже будут представлены снимки экрана, демонстрирующие процесс сборки летательного аппарата:





Также ниже представлены снимки экрана, демонстрирующих стадию взлета Чандраяна:





Москва, 2023

Глава 4.

Программные вычисления:

Для визуализации результатов, полученных из математической модели, была разработана программа на Python. Эта программа применяет математическую модель для моделирования движения объекта, используя метод Эйлера.

Главная цель анализа - извлечение численных данных, которые показывают, как изменяются параметры объекта в пространстве со временем. С применением библиотеки matplotlib в Python, цель не просто в численном решении уравнений движения, но и в графическом представлении этих результатов для более ясного восприятия и понимания.

```
import matplotlib.pyplot as plt
from math import *

p0 = 1.2230948554874 #кг/м^3
H = 5600 # Характерестическая высота
C = 2.32 # коэффициент сопротивления 2.32
A = 19.04 # Лобовое сопроивление
rashodS200 = 1820 # расход s200
rashodL110 = 558 # расход L110
dt = 0.1 # Шаг по времени
s1 = round(207000 / rashodS200, 1) # время необходимое для сжигания всего
топлива в s200 207000
s2 = round(116800 / rashodL110, 1) # время необходимое для сжигания всего
топлива в l110 116800
tyagaS200 = 4_942_300 * 2 # тяга s200
tyagaL110 = 863_200 * 2 # тяга L110
tL110launch = s1 #время запуска L110
tS200off = s1 #время отбрасывания S200
tL110OFF = s1 + s2 #время отбрасывания S200
masses = {'mextra': 12700, 'mlander': 598, 'mpropulsion': 668, 'mCEengine':
588, 'mHPVE1': 826, 'mS200': 30_760 * 2 + 2 * 207_060, 'mL110': 116_800 +
9670, 'mCE': 588 + 28570} # массы компонентов ракеты
mSUM = sum(masses.values()) # Начальная масса

m = [mSUM]
t = [round(i/10,1) for i in range(1,int((s1 + s2)*10))] # течение времени
vy = [0] # скорость по Oy
vx = [0] # скорость по Ox
dy = [15] # координатапо Oy
dx = [0] # координатапо Ox

f = open("Attitude.txt", 'r') # файл с зависимостью высоты от времени
angle = [90] # угол взлета + все углы во время полета
hfile = [] # высота из ksp
# запись значений с ksp
for i in f:
    i = i.split()
    angle.append(round(float(i[2]),2))
    hfile.append(float(i[1]))
```

```

N = len(angle)

counter1 = 0.1 # счётчик времени для s200
counter2 = 0.1 # счётчик времени для L110
#фиксирование изменения массы по матмодели
while counter1 <= tL110OFF:
    if counter1 < tL110launch: # для момента работы s200
        m.append(mSUM - 2 * rashodS200 * counter1)
        counter1 = round(counter1 + dt,1)
    elif tL110launch <= counter1 < tS200off: # для момента работы s200 + l110
        m.append(mSUM - 2 * rashodS200 * counter1 - rashodL110 * counter2)
        counter1 = round(counter1 + dt,1)
        counter2 = round(counter2 + dt,1)
    elif tS200off <= counter1 < tL110OFF: # для момента работы l110
        m.append(mSUM - masses["mS200"] - rashodL110 * counter2)
        counter1 = round(counter1 + dt,1)
        counter2 = round(counter2 + dt,1)
    elif counter1 == tL110OFF: # для момента окончания работы l110
        m.append(mSUM - masses["mS200"] - masses['mL110'])
        counter1 = round(counter1 + dt,1)
        counter2 = round(counter2 + dt,1)
    else:
        break

#фиксирование изменения высоты по матмодели
counter1 = 0.1
for i in range(1, N):
    if counter1 < tL110launch: # для момента работы s200
        vy.append(vy[i-1]+ dt*(tyagaS200*sin(angle[i-1] * pi/180) - m[i-1] *
9.81 - 0.5 * p0 * exp(-dy[i-1]/H) * C * A * vy[i-1] ** 2 * sin(angle[i-1] *
pi/180))/m[i-1])
        dy.append( dy[i-1]+vy[i]*dt)
        counter1 = round(counter1 + dt,1)
    elif tL110launch <= counter1 < tS200off: # для момента работы s200 + l110
        vy.append(vy[i-1]+ dt*((tyagaS200 + tyagaL110)*sin(angle[i-1] *
pi/180) - m[i-1] * 9.81 - 0.5 * p0 * exp(-dy[i-1]/H) * C * A * vy[i-1] ** 2 *
sin(angle[i-1] * pi/180))/m[i-1])
        dy.append( dy[i-1]+vy[i]*dt)
        print('a')
        counter1 = round(counter1 + dt,1)
    elif tS200off <= counter1 <= tL110OFF: # до момента прекращения работы
l110
        vy.append(vy[i-1] + dt*(tyagaL110*sin(angle[i-1] * pi/180) - m[i-1] *
9.81 - 0.5 * p0 * exp(-dy[i-1]/H) * C * A * vy[i-1] ** 2 * sin(angle[i-1] *
pi/180) )/m[i-1])
        dy.append( dy[i-1] + vy[i] * dt)
        counter1 = round(counter1+dt,1)

#Вывод графиков
plt.title("Высота от времени")
plt.xlabel("время, с")
plt.ylabel("высота, м")
plt.plot(t[:N-1], dy[:N-1], label="reallife")
plt.plot(t[:N-1], hfile[:N-1], label="KSP")
plt.legend()
plt.show()

```



```

f = open("speed.txt", 'r') # файл с зависимостью высоты от времени
vy = [0] # скорость по Oy
vx = [0] # скорость по Ox
dy = [15] # координата по Oy
dx = [0] # координата по Ox
m = [mSUM]
speedfile = []
tfile = []
angle = [90]
dt = 0.14

for i in f:
    i = i.split()
    tfile.append(round(float(i[0]), 2))
    speedfile.append(round(float(i[2]), 2))
    angle.append(round(float(i[1]), 2))

N = len(angle)
counter1 = 0.1
counter2 = 0.1
while counter1 <= tL110OFF:
    if counter1 < tL110launch: # для момента работы s200
        m.append(mSUM - 2 * rashodS200 * counter1)
        counter1 = round(counter1 + dt, 1)
    elif tL110launch <= counter1 < ts200off: # для момента работы s200 + l110
        m.append(mSUM - 2 * rashodS200 * counter1 - rashodL110 * counter2)
        counter1 = round(counter1 + dt, 1)
        counter2 = round(counter2 + dt, 1)
    elif ts200off <= counter1 < tL110OFF: # для момента работы l110
        m.append(mSUM - masses["mS200"] - rashodL110 * counter2)
        counter1 = round(counter1 + dt, 1)
        counter2 = round(counter2 + dt, 1)
    elif counter1 == tL110OFF: # для момента окончания работы l110
        m.append(mSUM - masses["mS200"] - masses['mL110'])
        counter1 = round(counter1 + dt, 1)
        counter2 = round(counter2 + dt, 1)
    else:
        break

counter1 = 0.1
for i in range(1, N):
    if counter1 < tL110launch:
        vy.append(vy[i-1] + dt * (tyagaS200 * sin(angle[i-1] * pi/180) - m[i-1] * 9.81 - 0.5 * p0 * exp(-dy[i-1]/H) * C * A * vy[i-1] ** 2 * sin(angle[i-1] * pi/180)) / m[i-1])
        vx.append(vx[i-1] + dt * (tyagaS200 * cos(angle[i-1] * pi/180) - 0.5 * p0 * exp(-dy[i-1]/H) * C * A * vx[i-1] ** 2 * cos(angle[i-1] * pi/180)) / m[i-1])
        dy.append(dy[i-1] + vy[i] * dt)
        counter1 = round(counter1 + dt, 2)
    elif tL110launch <= counter1 < ts200off:
        vy.append(vy[i-1] + dt * ((tyagaS200 + tyagaL110) * sin(angle[i-1] * pi/180) - m[i-1] * 9.81 - 0.5 * p0 * exp(-dy[i-1]/H) * C * A * vy[i-1] ** 2 * sin(angle[i-1] * pi/180)) / m[i-1])
        vx.append(vx[i-1] + dt * ((tyagaS200 + tyagaL110) * cos(angle[i-1] * pi/180) - 0.5 * p0 * exp(-dy[i-1]/H) * C * A * vx[i-1] ** 2 * cos(angle[i-1] * pi/180)) / m[i-1])
        dy.append(dy[i-1] + vy[i] * dt)
        counter1 = round(counter1 + dt, 2)

```

```

        dy.append(dy[i-1] + vy[i] * dt)
        counter1 = round(counter1 + dt, 2)
        elif tS200off <= counter1 <= tL110OFF:
            vy.append(vy[i-1] + dt * (tyagaL110 * sin(angle[i-1] * pi/180) - m[i-
1] * 9.81 - 0.5 * p0 * exp(-dy[i-1]/H) * C * A * vy[i-1] ** 2 * sin(angle[i-
1] * pi/180)) / m[i-1])
            vx.append(vx[i-1] + dt * (tyagaL110 * cos(angle[i-1] * pi/180) - 0.5 *
p0 * exp(-dy[i-1]/H) * C * A * vx[i-1] ** 2 * cos(angle[i-1] * pi/180)) /
m[i-1])
            dy.append(dy[i-1] + vy[i] * dt)
            counter1 = round(counter1+dt, 2)
vresult = [sqrt(vx[i] ** 2 + vy[i] ** 2) for i in range(N)]

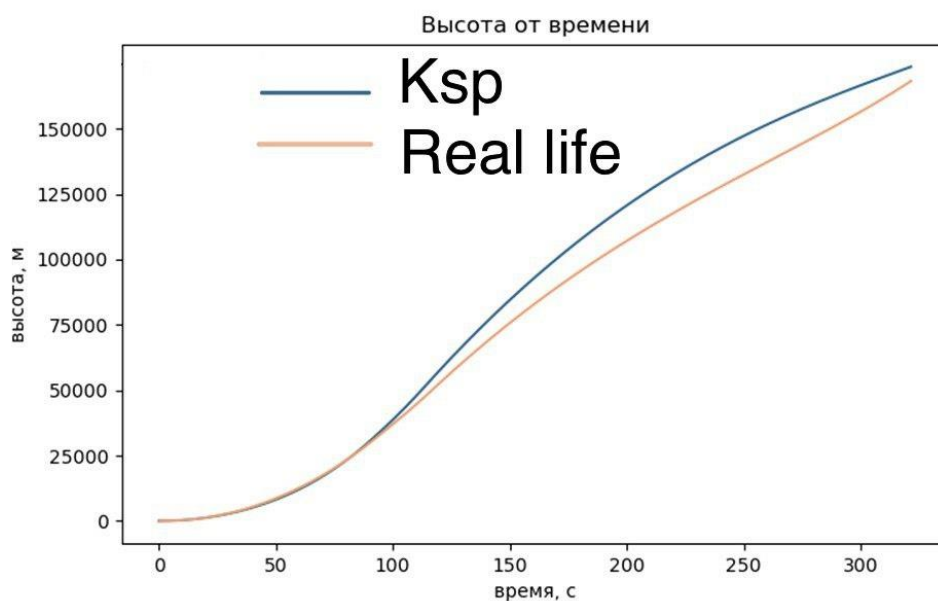
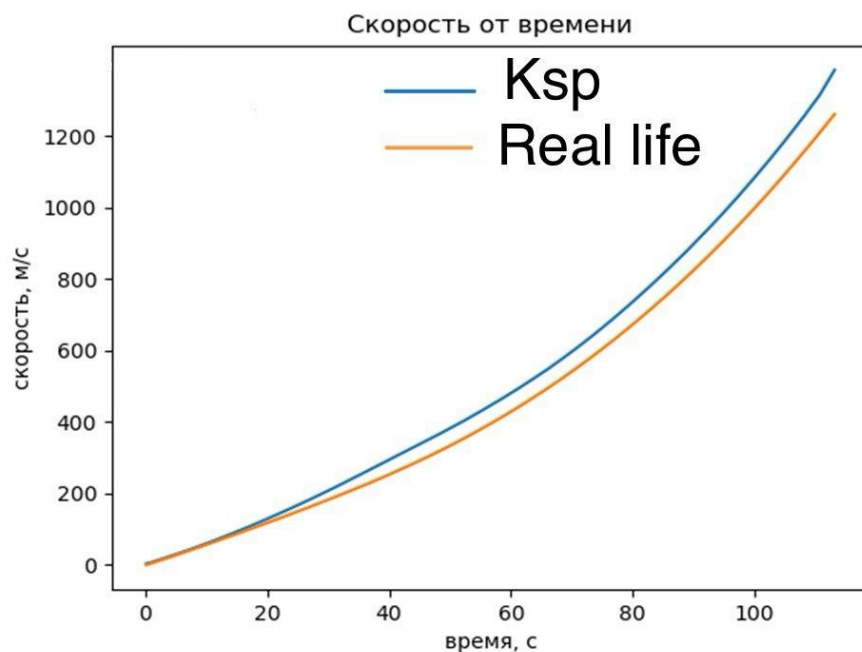
plt.title("Скорость от времени")
plt.xlabel("время, с")
plt.ylabel("скорость, м/с")
plt.plot(tfile[:N-1], speedfile[:N-1], label="KSP")
plt.plot(tfile[:N-1], vresult[:N-1], label="reallife")
plt.legend()
plt.show()

```


Глава 5.

Анализ и сравнение данных:

Мы вывели два графика взлёта ракеты из полученных данных из KSP (Kerbal Space Program) и данных из реальной жизни. Можно провести анализ между нашей моделью ракеты и ракеты из реальной жизни.



Причины расхождения графиков:

В процессе вычислений наша команды не учла угол наклона ракеты. Отличие масштабов солнечной системы в игре Kerbal Space Program и настоящего мира. Также причиной расхождения является несоответствие масс настоящих ступеней, двигателей, лунохода с их прототипами в Kerbal Space Program

Заключение.

В результате работы над проектом, мы научились работать в команде, а также распределять обязанности. Также мы познакомились с уникальной игрой Kerbal Space Program и успешно смогли запустить копию настоящей ракеты LVM3 из миссии «Чандраян – 3». Были сформированы математическая модель взлёта. В ходе анализа полученных расхождений в графиках были выявлены возможные причины возникших неточностей, а также способы их устранения. Вся изученная информация и итоги выполненной работы были представлены в виде видеопрезентации, в котором можно подробнее узнать о деталях полёта.

Приложения:

Скриншоты ракеты в KSP

Список используемых источников:

1. Основная информация о миссии «Чандраян – 3».<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%B3%D1%8A%D1%8F%D0%BD>
2. Статья от РБК про «Чандраян – 3». - <https://trends.rbc.ru/trends/industry/64e708069a7947117690c492>
3. Официальное видео от компании «ISRO» - запуск «Чандраян – 3» - <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=q2ueCg9bvvQ&t=3143s>
4. Записями с лекций по предмету: «Введение в авиационную и ракетно-космическую технику».
5. Посадочный модуль «Викрам»: <https://3dnews.ru/1092324/indiyskiy-lunohod-pragyan-prislal-foto-svoego-posadochnogo-modulya-vikram>
6. Официальный сайт ISRO (компания, запустившая Чандраян – 3) https://www.isro.gov.in/Chandrayaan3_Details.html