**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

**«Московский Авиационный Институт»**

**(Национальный Исследовательский Университет)**

Институт №8: «Компьютерные науки и прикладная математика»

Кафедра 806: «Вычислительная математика и программирование»

**ПРОЕКТНАЯ РАБОТА**

По курсу «Введение в авиационную и ракетно-космическую технику»

Тема:

**«Миссия Венера-7»**

**Группа**: M8О-111БВ-24

**Работу выполнили**:

Николич Савва Радомирович,

Ковалев Илья Михайлович,

Бурнаев Андрей Алексеевич,

Губеев Давид Илембаевич

Руководители проекта:

Тимохин Максим Юрьевич,

Кондратцев Вадим Леонидович

Оценка: \_\_\_\_\_\_\_\_ **\_\_**

Подпись: \_\_\_\_\_\_\_\_\_ Дата: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…………………………………………………………………………..3

ПЛАН ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ………………………………………………….4

ГЛАВА 1: ОПИСАНИЕ МИССИИ……………..………………………………….5

ГЛАВА 2: МАТЕМАТИЧЕСКАЯ И ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛИ…..…..……......14

ГЛАВА 3: ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ…………………...………….……16

ГЛАВА 4: СИМУЛЯЦИИ……………………………………...…………………..18

ЗАКЛЮЧЕНИЕ………………………………………………...……………….…..19

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ………….……………...…...…...20

# ВВЕДЕНИЕ

**Название проекта**: «V7»

**Название команды**: «Старлайт»

**Цель:** создать математическую и физическую модель миссии "Венера-7", провести симуляцию в Kerbal Space Program и сравнить результаты моделей с данными симуляции.

**Задачи:**

1. Изучить технические параметры и этапы миссии "Венера-7".
2. Разработать математическую модели для воссоздания полета
3. Смоделировать миссию в Kerbal Space Program.
4. Сравнить результаты моделей и симуляции.
5. Провести анализ отклонений и сделать выводы.
6. Составить отчет о проделанной работе.

**Состав команды:**

* Николич С. Р. – тимлид
* Ковалев И. М. – программист, KSP
* Бурнаев А. А. – физик
* Губеев Д. И. – физик, программист, KSP

# 

# 1. ОПИСАНИЕ МИССИИ

### Предыстория

После успешного запуска первого спутника (1957) и полета Юрия Гагарина (1961), Советский Союз стремился укрепить свое лидерство в космосе. Планетные исследования стали новой целью. Венера, как ближайший к Земле объект, представляла собой логичное направление для первых межпланетных миссий.

Ключевую роль в программе "Венера" сыграли достижения в разработке мощных ракет-носителей, таких как "Молния", которые могли выводить автоматические межпланетные станции на траектории к другим планетам. Современные для того времени радиолокационные и телеметрические системы позволяли поддерживать связь с аппаратами на больших расстояниях.

Программа "Венера" (1961–1984) включала серию автоматических межпланетных станций, разработанных Советским Союзом для исследования планеты Венера. Всего было запущено 16 успешных миссий с различными научными целями:

**Миссия «Венера-7»**

"Венера-7" — это космическая миссия, организованная Советским Союзом, ставшая первой успешной попыткой мягкой посадки аппарата на поверхность другой планеты и получения данных с её поверхности. Аппарат был запущен 17 августа 1970 года с космодрома Байконур и предназначался для изучения условий на Венере.

Ключевой целью миссии была посадка на Венеру и передача научных данных о её атмосфере и поверхности. Для этого аппарат был специально разработан с учетом экстремальных условий на планете, таких как высокое давление (до 90 атмосфер) и температура, достигающая 475°C. "Венера-7" стала первым космическим аппаратом, который успешно передал данные с поверхности Венеры после посадки 15 декабря 1970 года.

Аппарат передавал сигнал на Землю в течение 23 минут, что позволило получить важные сведения о температуре поверхности планеты. Миссия стала значительным шагом в исследовании Венеры и открыла новые возможности для будущих космических программ по изучению ближайших планет.

### Траектория полета

1. **Запуск с Земли**: Аппарат был запущен 17 августа 1970 года с космодрома Байконур при помощи ракеты-носителя "Молния-М". Первоначальная цель — вывести аппарат на орбиту вокруг Земли.
2. **Выход на межпланетную траекторию**: После достижения околоземной орбиты была проведена коррекция траектории, чтобы направить аппарат на межпланетный путь к Венере. Это делалось путем включения разгонного блока ракеты-носителя, который передал космическому аппарату достаточную скорость для выхода на траекторию полета к Венере.
3. **Межпланетный перелет**: В течение нескольких месяцев "Венера-7" двигалась по эллиптической траектории, сближаясь с Венерой. Во время полета проводились несколько коррекций траектории для точного попадания в атмосферу Венеры.
4. **Вход в атмосферу Венеры**: 15 декабря 1970 года аппарат достиг Венеры и вошел в её атмосферу на высокой скорости. Для замедления использовалась теплозащитная оболочка, которая позволила выдержать интенсивный нагрев при вхождении в плотные слои атмосферы.
5. **Атмосферное торможение и спуск**: Во время спуска через плотные слои атмосферы скорость аппарата постепенно снижалась. После сброса теплозащитной оболочки и раскрытия парашюта аппарат продолжил замедленный спуск на поверхность Венеры.
6. **Посадка на поверхность Венеры**: Спускаемый аппарат коснулся поверхности Венеры, передав данные в течение 23 минут до прекращения связи.

### Устройство аппарата

## 

Автоматическая межпланетная станция «Венера-7» состояла из **орбитального отсека** с корректирующей двигательной установкой и **спускаемого аппарата**.

**Орбитальный отсек** имел герметичный корпус цилиндрической формы. Внутри него размещались приборы радиокомплекса, систем астроориентации, управления и терморегулирования, а также аккумуляторные батареи и прибор КС-18-4М для изучения потоков космических частиц. В верхней части отсека находился спускаемый аппарат, а в нижней части — корректирующая двигательная установка. К боковым поверхностям отсека крепились панели солнечной батареи и остронаправленная параболическая антенна.

**Спускаемый аппарат** имел сферическую форму. Его корпус был изготовлен из титана, который, по расчётам, мог выдержать внешнее давление в 180 атмосфер на поверхности Венеры. Внутри герметичного приборного отсека спускаемого аппарата размещались радиотехническая, телеметрическая и измерительная аппаратура, блоки автоматики, источники электропитания, а также вентилятор системы терморегулирования.

В оснащение спускаемого аппарата входил парашют конусной формы площадью 2,8 кв. м. Купол парашюта был изготовлен из отечественного термостойкого материала стеклонитрон, который мог выдержать температуру до 530 градусов.

**Основные ступени ракеты-носителя "Молния-М":**

1. **Первая ступень**:
   * Состояла из центрального блока и четырёх боковых ускорителей, которые использовали жидкое топливо (керосин и жидкий кислород).
   * Основная задача первой ступени — обеспечить первоначальный набор скорости и вывод ракеты на высоту, достаточную для включения второй ступени.
2. **Вторая ступень**:
   * Вторая ступень также использовала жидкое топливо.
   * Её задача — продолжить разгон ракеты и вывести аппарат на промежуточную орбиту вокруг Земли.
3. **Третья ступень**:
   * Использовала жидкостный ракетный двигатель, который включался после отделения второй ступени.
   * Эта ступень выводила ракету и полезную нагрузку на орбиту вокруг Земли и готовила аппарат к следующему этапу миссии.
4. **Четвёртая ступень (разгонный блок)**:
   * Эта ступень, также известная как разгонный блок, была ключевой для выполнения межпланетного маневра. Её основная задача заключалась в том, чтобы обеспечить необходимую скорость и направить аппарат на траекторию к Венере.
   * После достижения орбиты Земли четвертая ступень включалась для выполнения разгонного маневра, который отправлял космический аппарат на межпланетный путь.

### Характеристики ракеты-носителя "Молния-М":

1. **Тип**: Многоступенчатая ракета
2. **Количество ступеней**: 4
3. **Высота**: около 43,4 м
4. **Диаметр**: 10,3 м (вместе с боковыми ускорителями первой ступени)
5. **Масса при старте**: около 305 тонн
6. **Топливо**:
   * Для первой и второй ступеней: керосин (РГ-1) и жидкий кислород (LOX).
   * Для третьей и четвёртой ступеней: также керосин и жидкий кислород.
7. **Тяга первой ступени**: около 3 900 кН
8. **Полезная нагрузка**: 1 180 кг (спускаемый аппарат "Венера-7").
9. **Разгонный блок**: использовался для достижения межпланетной траектории, выполняя последний маневр для направления аппарата к Венере.

### Характеристики космического аппарата "Венера-7":

### 1. Масса аппарата:

* + Общая масса: 1180 кг.
  + Масса спускаемого аппарата: около 495 кг.

2. **Размеры**: Диаметр спускаемого аппарата: около 1 м

**2.Математическая и физическая модель**

В рамках проекта по предмету «Введение в авиационную ракетно-космическую технику» мы разработали математическую модель для симуляции полёта первых двух ступеней ракеты миссии «Венера-7». Цель модели — описать движение ракеты от старта до отделения второй ступени, учитывая основные силы, действующие на неё в процессе полёта.

## **Описание математической модели**

Модель основана на физических законах движения и учитывает такие факторы, как сила тяжести, аэродинамическое сопротивление, тяга двигателей, изменение массы ракеты из-за расхода топлива и изменение плотности воздуха с высотой.

# Характеристики ступеней ракеты

Ракета состоит из двух ступеней, каждая из которых имеет свои параметры.

**Первая ступень:**

* Полная масса ():
* Масса топлива ():
* Тяга ():
* Время работы ():
* Сила выброса при отделении ():

**Вторая ступень:**

* Полная масса ():
* Масса топлива ():
* Тяга ():
* Время работы ():
* Сила выброса при отделении ():

### Константы и начальные параметры

В начале мы определяем основные физические константы и параметры ракеты:

— гравитационная постоянная (

M — масса Земли ()

R — радиус Земли ()

R — радиус Земли ()

**Разработка математической модели**

**1. Второй закон Ньютона для ракеты**

* — текущая масса ракеты.
* — ускорение ракеты.
* — сила гравитации на высоте h .
* — сила аэродинамического сопротивления.
* — центробежная сила

Это уравнение описывает суммарное действие всех сил, влияющих на ракету в полете — тяги, гравитации и сопротивления воздуха. На практике это уравнение позволяет рассчитать изменение скорости ракеты в любой момент времени, принимая во внимание текущую высоту, скорость и массу.

**2. Формула для силы сопротивления:**

* — коэффициент аэродинамического сопротивления (для ракеты обычно около (0.75-0.85), но зависит от формы и обтекателя),
* — плотность воздуха на высоте h,
* S — площадь поперечного сечения ракеты (),
* — скорость ракеты относительно воздуха.

**3. Изменение плотности воздуха по высоте**

* — плотность воздуха на уровне моря.
* — коэффициент, зависящий от характеристик атмосферы (в данном случае ( ).

**3. Сила тяги ракеты**

* — скорость истечения газов из сопла двигателя (м/с).
* — скорость расхода топлива (кг/с).

Это уравнение описывает, как тяга двигателя зависит от скорости истечения газов и расхода топлива.

**4. Сила гравитации**

* — сила гравитации (Н),
* — гравитационная постоянная (
* M — масса Земли ()
* R — радиус Земли ()
* h — высота ракеты над уровнем моря (м),
* m — текущая масса ракеты (кг)

**7. Учет изменения массы ракеты**

Масса ракеты изменяется из-за сгорания топлива. Эффективная модель требует учета расхода топлива во времени:

* — начальная масса ракеты,
* k — скорость расхода топлива (кг/с),
* t — время с момента старта.

**8. Расчет угла наклона ракеты (угла атаки) с учетом изменения высоты**

На этапе взлета угол атаки ракеты постепенно изменяется для более эффективного выхода на орбиту. Угол атаки также влияет на аэродинамическое сопротивление и траекторию полета. Уравнение для изменения угла:

* — начальный угол атаки (обычно , если ракета вертикально направлена),
* — коэффициент изменения угла (градусы в секунду),
* — время с момента старта

**9. Центробежная сила**

Центробежная сила действует перпендикулярно оси вращения и направлена от центра вращения:

* — угловая скорость вращения планеты ();
* — расстояние от центра Земли до ракеты;
* — широта места, где находится ракета.

Вблизи экватора () центробежная сила максимальна. На полюсах () центробежная сила отсутствует ().

**Итоговая система уравнений для взлета**

Для более точного моделирования взлета ракеты с учетом всех вышеописанных формул, итоговая система дифференциальных уравнений будет следующей:

### 3.Програмная реализация

**4. Симуляция**

### Симуляция полёта

Мы проводим симуляцию полёта, последовательно проходя по каждой ступени и моделируя её работу по секундам:

1. **Инициализация параметров:**
   * Задаём начальные скорости, высоту, смещение и массу ракеты.
   * Открываем файл для записи данных симуляции.
2. **Цикл по ступеням:**
   * Для каждой ступени получаем её характеристики.
   * Запускаем цикл по времени работы ступени.
3. **Внутри цикла по времени:**
   * Рассчитываем угол наклона ракеты на текущей высоте.
   * Разделяем тягу на вертикальную и горизонтальную составляющие.
   * Вычисляем радиус от центра планеты до ракеты.
   * Рассчитываем центробежную силу.
   * Определяем силу тяжести на текущей высоте.
   * Вычисляем угол атаки и коэффициент сопротивления.
   * Определяем плотность воздуха на текущей высоте.
   * Рассчитываем силу аэродинамического сопротивления.
   * Вычисляем ускорения по вертикали и горизонтали.
   * Обновляем скорости, высоту и горизонтальное смещение.
   * Обновляем массу ракеты с учётом расхода топлива.
   * Записываем данные в файл для последующего анализа.
4. **После сгорания топлива ступени:**
   * Применяем силу выброса при отделении ступени.
   * Обновляем скорости с учётом этой силы.
   * Сбрасываем сухую массу отработанной ступени.

Разработанная математическая модель позволяет симулировать полёт ракеты с учётом основных физических факторов, влияющих на её движение. Модель учитывает изменение массы ракеты, изменение плотности атмосферы с высотой, силы тяги, аэродинамическое сопротивление и гравитационное ускорение. Полученные данные могут быть использованы для анализа траектории полёта, оптимизации параметров ракеты и улучшения понимания процессов, происходящих при запуске космических аппаратов.

**Заключение**

Проект по исследованию миссии "Венера-7" стал уникальной возможностью для погружения в сложный процесс разработки и выполнения космических миссий. Основное внимание было уделено созданию математических и физических моделей, описывающих этапы полёта ракеты-носителя. Использование этих моделей в симуляциях позволило не только воспроизвести основные этапы миссии, но и выявить ключевые зависимости, влияющие на успех полёта и посадки.

Одним из важных аспектов работы стало применение современных инструментов для симуляции, таких как Kerbal Space Program, что позволило наглядно визуализировать сложные процессы и сравнить их с реальными данными миссии. Это продемонстрировало важность интеграции вычислительных методов и экспериментальных данных в проектировании космических аппаратов.

Итоговые результаты проекта — разработанные модели, проведённые симуляции и сделанные выводы — не только углубили наше понимание работы космических систем, но и показали потенциал междисциплинарного подхода. Этот опыт стал важным шагом в освоении методов проектирования космических миссий и закладывает основу для дальнейшего развития в этой области.

**Источники**

**Приложения**