**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ**

**(национальный исследовательский университет)» (МАИ)**

УТВЕРЖДАЮ

Преподаватель МАИ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

“\_\_”\_\_\_\_\_\_\_\_2024 г.

ОТЧЁТ

О ПРОЕКТЕ

ФГБ “Заря”

Тимлид проекта Стрельников Н.К. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Москва 2024

# **СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ**

Тимлид, презентация, математик Стрельников Н.К.

Программист, KSP Дылдин С.В.

Математик, программист Богданов М.А.

Физик, математик Дробышев Е.П.

# **ВВЕДЕНИЕ**

Цель проекта:

Спроектировать вывод на орбиту функционального грузового блока «Заря».

Задачи:

1. Изучение информации о полёте блока «Заря»:
2. Составление математической и физической модели полета:
3. Проведение расчетов математической модели с помощью Python:
4. Создание аналогичной модели в игре «Kerbal Space Program» (KSP):
5. Сравнение и анализ результатов расчётов и моделирования:
6. Подведение итогов:
7. ОПИСАНИЕ МИССИИ
   1. **Историческая справка**

Функционально-грузовой блок “Заря” - первый элемент МКС, разработанный Центром им. М.В. Хруничева и запущенный на околоземную орбиту 20 ноября 1998 года в 6:40 (UTC) с космодрома Байконур. Ракетой-носителем являлась “Протон-К”. Так как финансирование проводилось NASA, то модуль фактически является американским, хоть и расположен в русском сегменте станции. Задачами блока изначально являлись энергоснабжение станции, управление ориентацией, поддержание температурного режима, хранение топлива и проего. После стыковки с модулем “Звезда” 26 июля 2000 года большинство функций были переданы новому компоненту. Неизменной осталась функция склада и хранилища топлива. Также на данный момент задачей модуля является конструктивно-силовая связь со служебным модулем (СМ «Звезда»), малым исследовательским модулем (МИМ1 «Рассвет») и американским узловым модулем Node1 «Юнити», входящими в состав МКС.

* 1. **Конструкция ФГБ**

Модуль имеет цилиндрическую форму с шарообразным головным отсеком и конической кормой и обладает длинной в 12,6 метров, максимальной шириной в 4,1 метр и имеет 3 стыковочных узла. “Заря” оснащена двумя солнечными батареями размером 10,67х3,35 метра, которые могут обеспечить 3 киловатта мощности в среднем. Энергия хранится в шести никель-кадмиевых батареях. Маневрирование блока обеспечивают 24 больших ролевых двигателя и 12 малых ролевых двигателя, а 16 баков, закрепленных снаружи модуля, могут содержать до 6,1 тонн топлива. Модуль также имеет два больших двигателя, использующихся для повторного разгона и крупных изменений орбиты, но после стыковки с модулем “Звезда”, данные двигатели были навсегда отключены из–за ненадобности. Компоновка ФГБ включает в себя приборно-грузовой отсек и герметичный адаптер, предназначенный для размещения бортовых систем, обеспечивающих механическую стыковку с другими модулями МКС и прибывающими на МКС кораблями. Внутреннее пространство модуля разделено на две зоны: приборную и жилую. В приборной зоне размещены блоки бортовых систем. Жилая зона предназначена для работы экипажа. В ней находятся элементы систем контроля и управления бортовым комплексом. Приборная зона отделена от жилой зоны панелями интерьера. Основные технические характеристики приведены в таблице:

| Параметр | Значение |
| --- | --- |
| Масса на орбите | 20 260 кг |
| Длина по корпусу | 12 990 мм |
| Максимальный диаметр | 4 100 мм |
| Объем герметичных отсеков | 71,5 м³ |
| Жилой объём | 57.8 м³ |
| Размах солнечных батарей | 24 400 мм |
| Площадь фотоэлектрических элементов | 28 м² |
| Гарантированная среднесуточная мощность  электроснабжения напряжением 28 В | 3 кВт |
| Масса заправляемого топлива | до 6100 кг |

* 1. **Сведения о ракете-носителе**

«Протон-К» — трехступенчатая ракета-носитель, созданная путем модернизации ракеты-носителя «Протон». Обладает стартовой массой 705 тонн. Полезная нагрузка до 22,5 тонн на низкую околоземную орбиту.

| Ступень | Характеристики | Значения |
| --- | --- | --- |
| 1-я | Тип и кол-во двигателей | Шесть жидкостных ракетных двигателя РД-253 |
| Рабочие вещества | Керосин и кислород |
| Высота | 21,2 м. |
| Диаметр | 7,4 м. |
| Пустая масса | 31100 кг. |
| Масса брутто | 450510 кг. |
| Максимальная тяга | 10 470 кН. |
| Удельный импульс | 316 сек. |
| Время горения | 124 сек. |
| 2-я | Тип и кол-во двигателей | Четыре жидкостных ракетных двигателя РД-0210 |
| Рабочие вещества | Керосин и кислород |
| Высота | 14 м. |
| Диаметр | 4,15 м. |
| Пустая масса | 11715 кг. |
| Масса брутто | 167 828 кг. |
| Максимальная тяга | 2399 кН. |
| Удельный импульс | 327 сек. |
| Время горения | 206 сек. |
| 3-я | Тип и кол-во двигателей | 1 жидкостный ракетный двигатель РД-0212 |
| Рабочие вещества | Керосин и кислород |
| Высота | 6,5 м. |
| Диаметр | 4,15 м. |
| Пустая масса | 4185 кг. |
| Масса брутто | 50747 кг. |
| Максимальная тяга | 613,8 кН. |
| Удельный импульс | 325 сек. |
| Время горения | 238 сек. |

1. МОДЕЛЬ ПОЛЁТА
   1. **Математическая модель**

Для расчета вывода на малую околоземную орбиту ФГБ “Заря” необходимо применение следующих формул:

1. Закон всемирного тяготения

, где

* G - гравитационная постоянная
* M - масса Земли
* m - масса модуля ракеты-носителя на каждом этапе
* R - расстояние от центра Земли, до объекта

1. Уравнение Циолковского

, где

* Isp - удельный импульс
* g0 - ускорение свободного падения на уровне моря
* Mf - полная масса ракеты с топливом
* Me - масса ракеты без топлива

1. Формула коэффициента изменения массы

, где

* M0 - начальная масса ракеты
* M - масса ракеты без топлива
* T - время работы двигателя

1. Уравнение расхода массы
2. Упрощенная формула расчета лобового сопротивления воздуха

, где

* p - плотность, зависящая от высоты
* v2 - квадрат вектора скорости
* S - характерная площадь движущегося тела
* CF - коэффициент сопротивления воздуха

1. Тяговооруженность

, где

* T - сила тяги, создаваемая двигателем
* W - вес ракеты
* F - сила тяги
* m - масса ракеты
* g - ускорение свободного падения

1. Движение материальной точки

- по 2 закону Ньютона, где

* F - равнодействующая сила
* m - масса аппарата
* a - ускорение аппарата

1. Формула для расчета первой космической скорости

, где

* G - гравитационная постоянная
* M - масса Земли
* r - расстояние от центра Земли до аппарата
  1. **Физическая модель**

0. Подставим в формулу тяговооруженности все значения, если TWR>1 ракета взлетит.

1.

1. После выхода в безвоздушное пространство космический аппарат считается материальной точкой, то есть его размеры и форма не влияют на его движение.
2. Атмосфера представляется идеальным газом, с постоянными значениями плотности и температуры, ~~а ускорение свободного падения считается постоянным (9,8 м/с²).~~
3. Не учитывается кривизна Земли, то есть траектория аппарата считается прямолинейной.
4. Используем формулу для расчета первой космической скорости.