

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»  
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

ИНСТИТУТ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ  
КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

Отчёт по самостоятельной работе №1  
Отделение космического аппарата  
«Математические методы анализа и проектирования космических систем»

Выполнил студент:  
Раскольников Р. Р.  
группа: 123123

Проверил:  
к.т.н., доцент  
Юдинцев В. В.

Самара 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Описание системы . . . . .	2
2	Задание . . . . .	3
3	Решение . . . . .	4
3.1	Определение приращений скоростей . . . . .	4
3.2	Определение зависимости $V_{12}(t)$ . . . . .	4
3.3	Определение продолжительности работы толкателей . . . . .	5
4	Выводы . . . . .	5
	Список использованных источников . . . . .	6

## 1 Описание системы

От орбитальной ступени ракеты-носителя (РН) массой  $m_1$  отделяется космический аппарат (КА) массой  $m_2$  при помощи пружинных толкателей [1, 2]. Отделение КА происходит после выведения орбитальной ступени РН с КА на заданную орбиту и завершения работы двигателя орбитальной ступени.

КА с орбитальной ступенью соединен при помощи пирозамков, которые срабатывают по команде от системы управления РН. В результате срабатывания пирозамков нарушается жесткая механическая связь между КА и орбитальной ступенью РН и КА под действием пружинных толкателей отделяется (отталкивается) от орбитальной ступени. Для телеметрического контроля отделения КА в поперечном стыке устанавливают датчики, которые сигнализируют об расхождении стыков (рисунок 1).

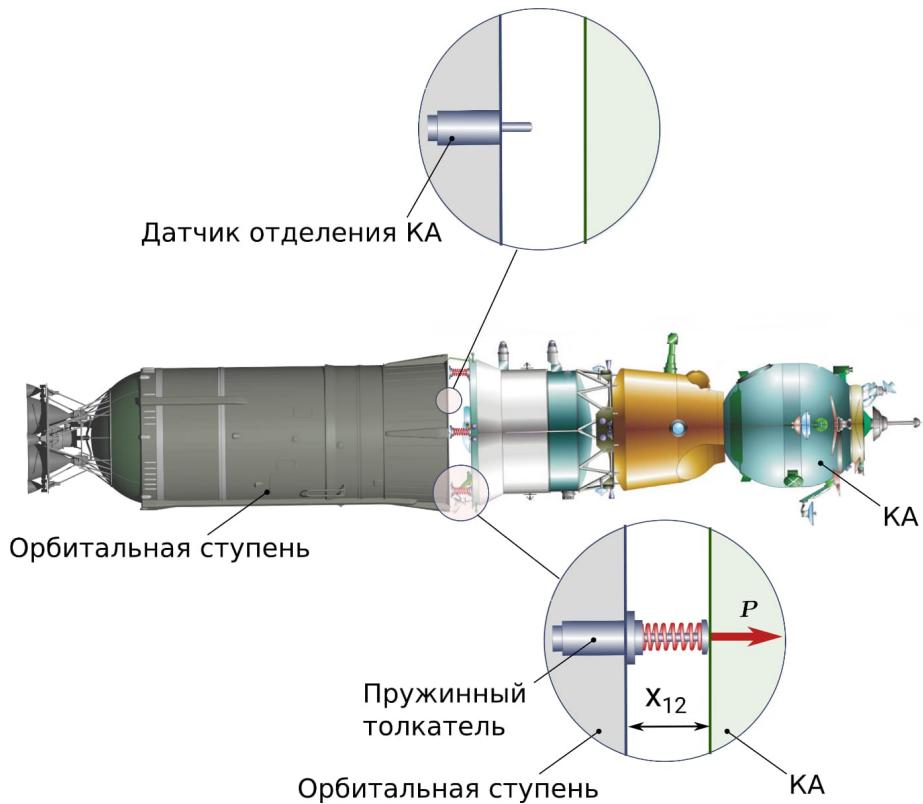


Рисунок 1 – Схема отделения КА

Сила пружинного толкателя изменяется в зависимости от перемещения его штока по линейному закону, убывая при выдвижении штока (рисунок 2) [1]. Начальное усилие одного пружинного толкателя равно  $P_2$ , конечное усилие  $P_1$ , максимальное перемещение штока (при котором усилие равно  $P_1$ ) равно  $h_p$ .

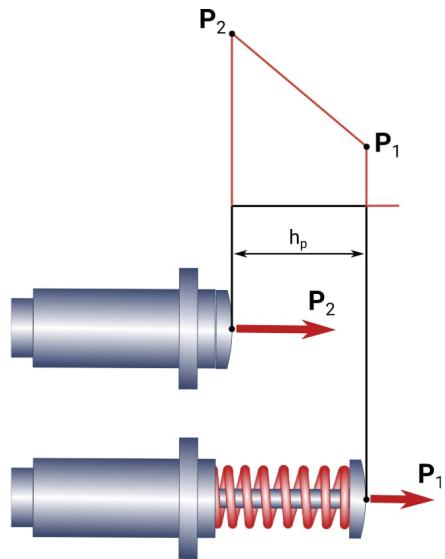


Рисунок 2 — Изменение силы пружинного толкателя в зависимости от перемещения его штока

## 2 Задание

Рассматривая КА и орбитальную ступень как материальные точки постоянного состава, движущиеся только под действием пружин толкателей, рисунок 3:

- определить приращение скорости КА после окончания работы пружинных толкателей.
- определить приращение скорости орбитальной ступени после окончания работы пружинных толкателей.
- определить продолжительность работы толкателей.
- построить зависимость относительной скорости (между КА и орбитальной ступенью) от времени

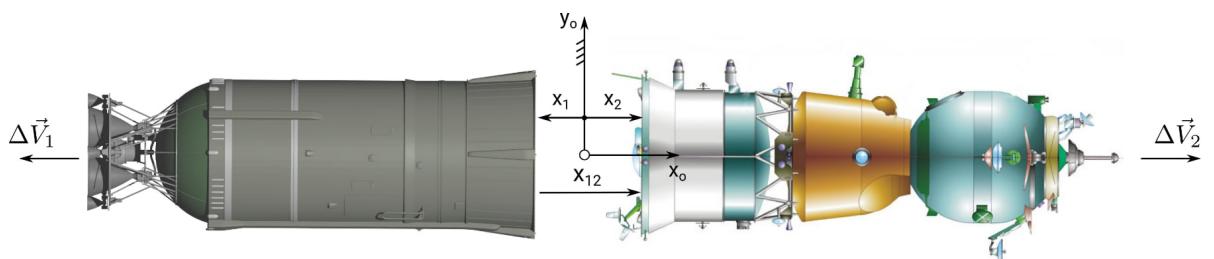


Рисунок 3 — Относительное движение КА и орбитальной ступени РН

Параметры системы приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Исходные данные

Параметр	Значение
$m_1$	3000 кг
$m_2$	6000 кг
$P_2$	3000 Н
$P_1$	500 Н
$h_p$	0,2 м
$n$	3 шт

Величины приращений скоростей и продолжительность работы толкателей привести с точностью до трех значащих цифр.

### 3 Решение

#### 3.1 Определение приращений скоростей

Для определения приращений скоростей КА и орбитальной ступени используется теорема об изменении кинетической энергии системы и закон сохранения количества движения системы. Изменение кинетической энергии системы будет определяться суммарной работой  $A$  пружинных толкателей отделения:

$$m_1 V_1^2 + m_2 V_2^2 = 2A \quad (3.1)$$

где  $V_1$  – приращение скорости ступени,  $V_2$  – приращение скорости КА,  $A$  – суммарная работа пружинных толкателей, определяемая выражением:

$$A = n \frac{1}{2} (P_2 + P_1) h_p.$$

...

#### 3.2 Определение зависимости $V_{12}(t)$

Для определения зависимости относительной скорости  $V_{12}$  от времени запишем уравнение движения рассматриваемой системы

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 = (-P_2 - c\delta)n \\ m_2 \ddot{x}_2 = ... \end{cases} \quad (3.2)$$

где  $\delta = x_2 - x_1$  – расстояние между разделяемыми поперечными стыками КА и РН (рисунок 3).

...

### 3.3 Определение продолжительности работы толкателей

...

## 4 Выводы

В результате выполнения работы определено приращение линейной скорости КА после окончания работы толкателей которое составляет \*,\*\* м/с, при этом приращение скорости ступени в противоположном направлении равно \*,\*\* м/с. Продолжительность работы толкателей отделения составляет \*,\*\* с.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Круглов, Г. Е. Аналитическое проектирование механических систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. Е. Круглов ; Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (СГАУ). - Самара, 2000.
2. Расчёт и проектирование систем разделения ступеней ракет : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Ракетостроение и космонавтика» / К. С. Колесников [и др.]. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. — 373 с.