

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

**Московский государственный технический университет**

**им. Н. Э. Баумана**

**Национальный исследовательский университет**

**(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

**Домашнее задание №2**

**По курсу: «Динамика КА»**

**Вариант №9**

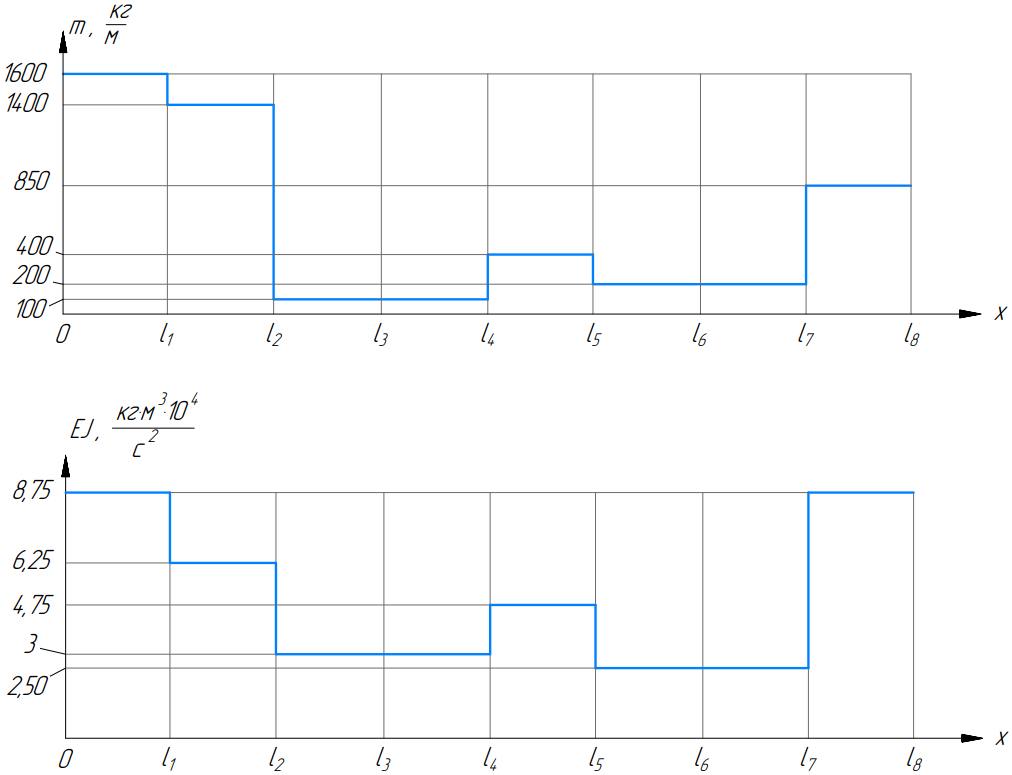
[nvk24oleg@mail.ru](mailto:nvk24oleg@mail.ru)

Выполнил: Серебрянников О.А.

Группа: РКТ2-81

Проверил: Борзых С. В.

**Условия:**



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9 | 2 | 5 | 10 | 12 | 14 | 20 | 21 | 23 |

Таблица 1

Время работы двигателя

Задержка включения одного двигателя относительно другого

Сила действия двигателя:

**Задание:** Определение коэффициента потерь скорости отделения балки

1. По заданным силовым воздействиям, их длительности и характеристикам балки из д.з.№1 определить массу и эталонную скорость отделения.
2. Определить скорость отделения упругой балки и коэффициент потери скорости. Результаты представить в виде графиков обобщенных координат S(t) и их производных. Представить в виде графиков зависимости по времени углов отклонения вектора сил от направления отделения. Время расчета должно быть не менее Т+1 с.

# Решение

## Определение массы и эталонной скорости отделения

В ДЗ №1 мы получили:

* Общую длину балки
* Среднюю погонную массу балки
* Среднюю интегральную погонную жёсткость балки:

Тогда общая масса балки (отделения):

Эталонная скорость отделения находится для идеального случая, когда балка представляет собой абсолютно твёрдое тело и нет задержки между включениями двигателей.

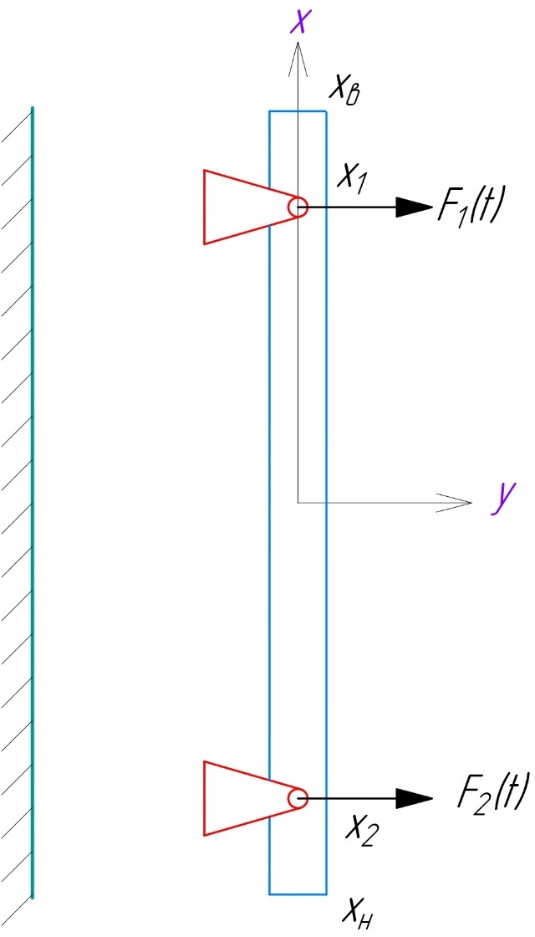


Рис. 1

Запишем уравнение движения балки, учитывая, что

Тогда эталонная скорость (идеальный случай) будет равна:

Найдём сначала интеграл ():

Подставляя известные значения и в уравнение (1) окончательно получим значение эталонной скорости (идеальный случай):

## Определение скорости отделения упругой балки и коэффициента потери скорости.

Сначала запишем уравнение поперечного упругой изгиба:

Перемещение вдоль оси представим как сумму перемещений по тону:

Где представим как произведение двух функций, каждая из которых зависит только от одной переменной:

Тогда *реальная* скорость:

Причём из начальных условий:

Следует:

Если считать балку упругой, то потери скорости в этом случае объясняются отклонением действия сил, создаваемым средствами разделения (в данном случае – с фиксированным импульсом), от оси , то есть от направления организованного движения.

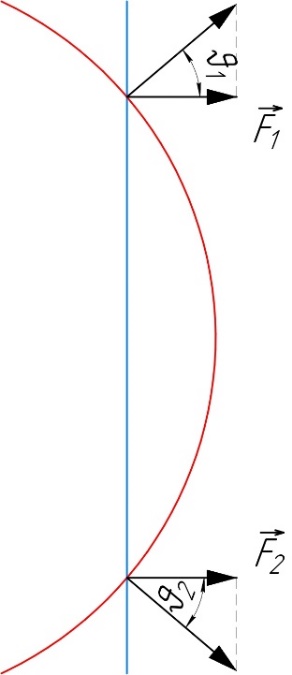


Рис. 2

То есть реальные значения сил будут в этом случае:

Углы отклонения сил считаем очень малыми:

Где – координаты установки двигателей.

Подставим принятые соотношения в формулу (2) и проведя преобразования, получим:

Где .

Получили систему уравнений, развязанную по левым частям, но в правые части каждого уравнения входит сумм по всем учитываем тонам. В домашнем задании ограничимся сравнительно небольшим числом тонов колебаний: 2-а твёрдых и 3-и упругих. Получили систему из 5-и уравнений.

Собственные частоты колебаний мы получили в первом домашнем задании:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тон | 1тв | 2тв | 1упр | 2упр | 3упр |
|  | 0 | 0 | 0,3896 | 1,0733 | 2,1048 |

Таблица 2

Примем, что для первого двигателя , а второй двигатель работает с задержкой . На рисунке 3 представлены зависимости сил двигателей от времени.

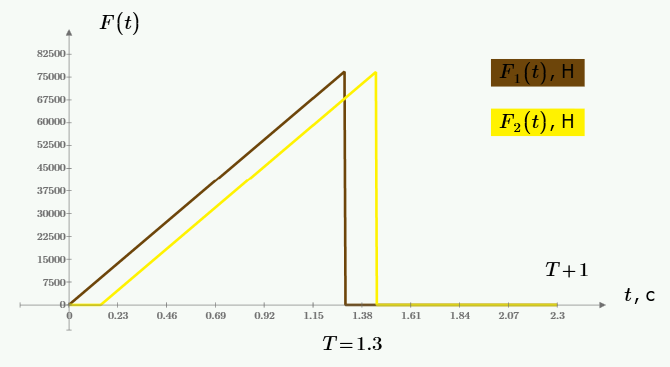


Рис. 3

Двигатели установлены симметрично относительно оси . Введём безразмерную координату двигателей .

Причём , центр системы координат установлен в середине балки как на рисунке 1.

Пусть , то есть .

Функции нормированных форм колебаний мы также получили в первом ДЗ. Запишем значения этих функций и их производных в точках установки двигателей:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тон |  |  |  |  |
| 1тв | 0,0091 | 0,0000 | 0,0091 | 0,0000 |
| 2тв | 0,0085 | 0,0007 | -0,0085 | 0,0007 |
| 1упр | 0,0039 | 0,0008 | 0,0039 | -0,0008 |
| 2упр | -0,0009 | -0,0003 | 0,0009 | -0,0003 |
| 3упр | 0,0002 | 0,0001 | 0,0002 | -0,0001 |

Таблица 3

Решение системы уравнений (8) с начальными условиями (6) производилось при помощи Mathcad. Результат решения представлен в виде таблиц и графиков функций.

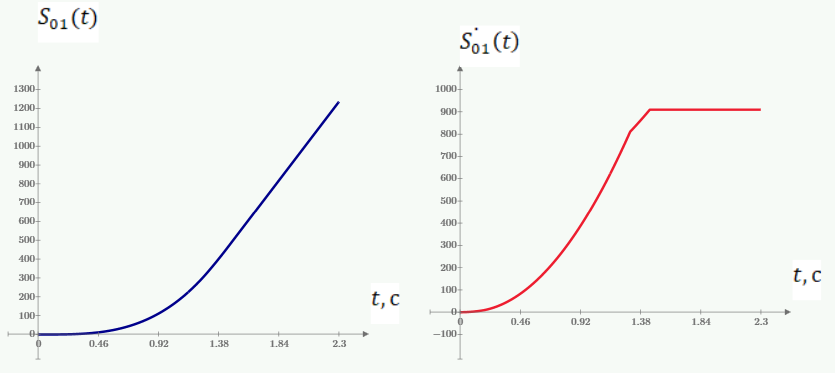
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Время работы двигателя t, c T+1 | | | | | | | | | | |
| 0,0 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 2,3 |
| 1тв | 0,0000 | 1,1379 | 11,4088 | 43,6126 | 110,8501 | 226,2157 | 400,5052 | 608,0456 | 817,2684 | 1026,4911 | 1235,7139 |
| 2тв | 0,0000 | 0,9770 | 5,6621 | 14,3380 | 27,0047 | 43,6612 | 62,1725 | 63,7600 | 63,7760 | 63,7920 | 63,8081 |
| 1упр | 0,0000 | 0,4880 | 4,8865 | 18,6453 | 47,2675 | 96,1347 | 169,4796 | 255,7087 | 340,6069 | 422,7720 | 501,5446 |
| 2упр | 0,0000 | -0,1030 | -0,5896 | -1,4597 | -2,6596 | -4,1161 | -5,5143 | -4,7992 | -3,6268 | -2,2346 | -0,7068 |
| 3упр | 0,0000 | 0,0247 | 0,2408 | 0,8745 | 2,0625 | 3,8142 | 5,9588 | 7,4505 | 7,2669 | 5,4132 | 2,3155 |

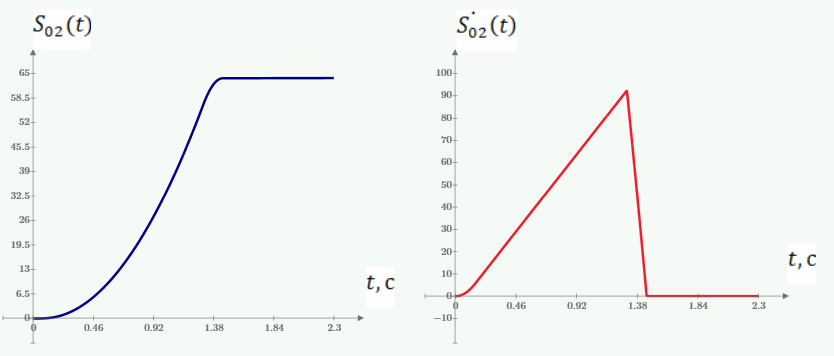
Таблица 4

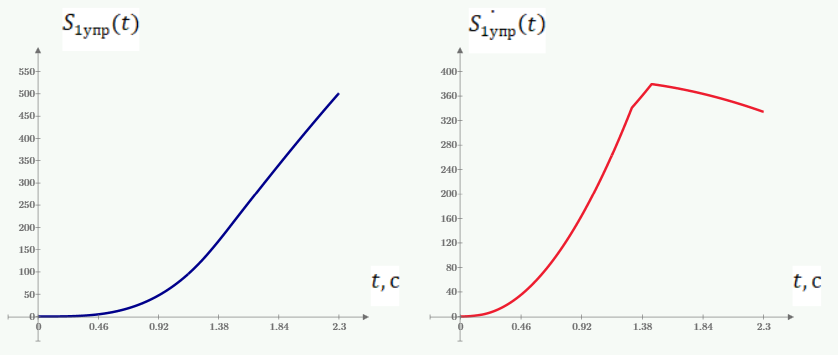
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Время работы двигателя t, c T+1 | | | | | | | | | | |
| 0,0 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 2,3 |
| 1тв | 0,0000 | 15,9654 | 82,8421 | 206,6846 | 387,4782 | 625,1800 | 862,0337 | 909,6643 | 909,6643 | 909,6643 | 909,6643 |
| 2тв | 0,0000 | 11,6938 | 29,0458 | 46,3974 | 63,7470 | 81,0911 | 44,5598 | 0,0697 | 0,0697 | 0,0697 | 0,0697 |
| 1упр | 0,0000 | 6,8445 | 35,4503 | 88,1820 | 164,6100 | 264,1027 | 361,0873 | 374,0836 | 363,6675 | 350,3333 | 334,1880 |
| 2упр | 0,0000 | -1,2297 | -2,9799 | -4,5465 | -5,8344 | -6,7652 | -1,5912 | 4,5104 | 5,6324 | 6,4129 | 6,8045 |
| 3упр | 0,0000 | 0,3449 | 1,7068 | 3,9046 | 6,4329 | 8,7097 | 8,9475 | 3,0413 | -4,6068 | -11,1961 | -15,2124 |

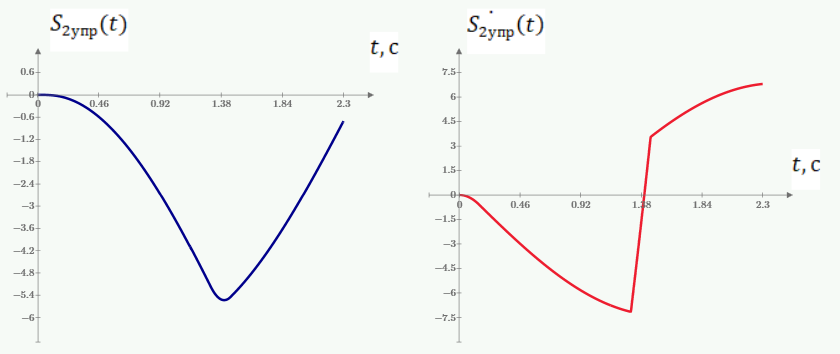
Таблица 5

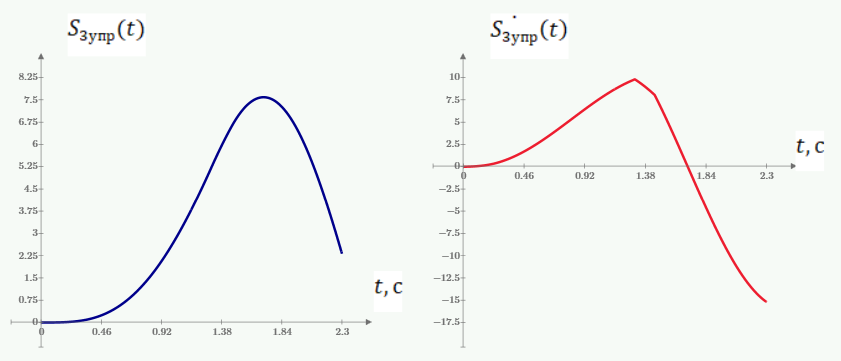
**Графики**

****

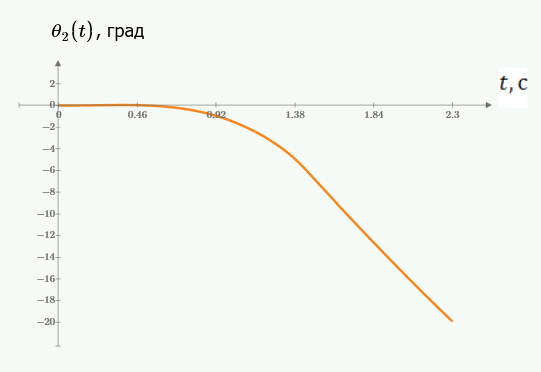
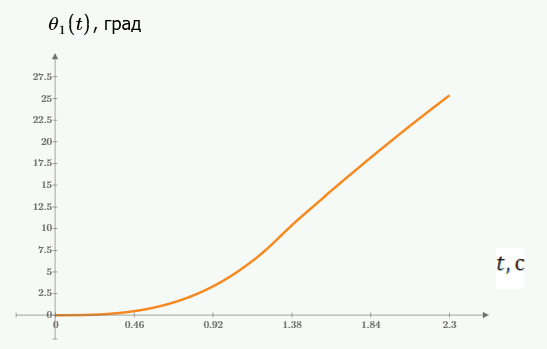
****

****

****

****

По формуле (7) получим графики углов отклонения сил двигателей:



В качестве реальной скорости ракеты примем скорость движения по первой твёрдой форме в момент времени , так как к этому времени завершает свою работу второй отстающий двигатель.

Найдём коэффициент потери скорости: