|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| физ. обозначение | | значение | | величина | Единицы измерения в СИ |
|  | | 267000 | | масса до запуска ракеты | кг |
|  | | 500 | | масса полезной нагрузки |
|  |  | 172000 | | масса 1-й заправленной ступени |
|  | 94000 | | масса 2-й заправленной ступени |
|  |  | 13600 | | масса 1-й ступени без топлива |
|  | 7495 | | масса 2-й ступени без топлива |
|  |  | на Земле | 252 | удельный импульс двигателя 1-й ступени |  |
| вакуум | 308 |
|  | на Земле | 243 | удельный импульс двигателя 2-й ступени |
| вакуум | 309 |
|  |  | на Земле | 3216 | тяга двигателя 1-й ступени | кН |
| вакуум | 3924 |
|  | на Земле | 735,5 | тяга двигателя 2-й ступени |
| вакуум | 921 |
|  | | 9,81 | | местное ускорение свободного падения |  |

**Физическая модель**

Основные формулы:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Искомая величина | Формула | Единицы измерения в СИ |
| Скорость ракеты |  |  |
| Формула Циолковского для многоступенчатой ракеты |  |
| Гравитационные потери скорости |  |

- угол между вектором силы тяги двигателя и вектором местного ускорения свободного падения.

Вспомогательные физические величины:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| физ. обозначение | | значение | величина | Единицы измерения в СИ |
|  | | 315 | время от начала полета до конца полета | с |
|  | | 16 | время начала поворота | с |
|  | | 113 | время окончания поворота | с |
|  |  | 122 | время работы 1-й ступени ракеты | с |
|  | 280 | время работы 2-й ступени ракеты | с |
|  | | 280 | общее время работы ступеней | с |
|  |  | 1300 | скорость расхода топлива 1-й ступени |  |
|  | 308.5 | скорость расхода топлива 2-й ступени |
|  | |  | Итоговый угол наклона ракеты к горизонту | рад. |
|  | |  | экспериментально подобранный коэффициент |  |

Вспомогательные формулы:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Искомая величина | Формула | Единицы измерения в СИ |
| Скорость расхода топлива |  |  |
| Высота ракеты |  |  |
| скорость набора высоты |  |  |

**Математическая модель**

Скорость расхода топлива

1. Первая ступень:
2. Вторая ступень:

Время работы каждой ступени

1. Первая ступень:
2. Вторая ступень:

Так как вторая ступень начинает работать с самого старта, то

Скорость и высота полета

Скорость ракеты вычисляется с помощью этого уравнения:

где:

– характеристическая скорость многоступенчатой ракеты в момент времени t.

- гравитационные потери скорости к моменту времени t.

Угол рассчитывается по формуле:

Таким образом , скорость ракеты в момент времени t равна:

Высота полета

где

а угол между вертикалью и вектором скорости ракеты равен:

Итоговая формула для нахождения высоты ракеты в момент времени t: