

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**Всероссийская олимпиада школьников
«Шаг в будущее, Космонавтика»**

***Исследование возможности посадки
космического аппарата на астероид.***

Автор: Шаповалова Ирина Дмитриевна, МБОУ СОШ «Гармония» 11 класс,
г. Можайск, Московская область

Научный руководитель: Товарных Геннадий Николаевич,
доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана

Москва

2021 г.

В Оргкомитет Всероссийской

олимпиады

“Шаг в будущее. Космонавтика”

Шаповалова Ирина Дмитриевна

МБОУ СОШ «Гармония», 10 класс,

город Можайск, Московская область,

контактный телефон: +7 985 819 07 02

Аннотация

на научно-исследовательскую работу

Исследование возможности посадки космического аппарата на астероид

Актуальность:

Астероиды и кометы являются неотъемлемой частью космического пространства, в частности, нашей Солнечной системы. Они таят в себе колоссальный объем информации, как о структуре, так и об истории нашей Вселенной. Вместе с тем они могут нести угрозу нашей планете или быть источником полезных ископаемых, дефицит которых со временем может испытывать наша Земля.

Именно большой информационный и природный ресурс, заложенный в астероидах и кометах, заставляет ученых всего мира все активнее заниматься исследованием этих небесных тел. И данная работа не стала исключением.

Цель исследовательской работы:

Предложить алгоритм полета и посадки космического аппарата, предназначенного для исследования выбранного объекта, сбора информации, добычи грунта, с последующей доставкой полученных материалов на Землю.

Вся работа состоит из двух **этапов**:

1. Исследование астероидов и комет.

Основными **задачами** этого этапа стали:

- 1.1. Изучение классификации астероидов и комет и последующий анализ для выявления наиболее перспективной группы астероидов.
- 1.2. Изучение и анализ космических миссий различных стран. Рассматривались схемы полета, способы изучения астероида, конструкции космических кораблей.

2. Исследовательская часть. Задачи:

- 2.1. Выбор объекта исследования.
- 2.2. Определение первой и второй космической скоростей вблизи выбранного астероида.
- 2.3. Расчет высоты стационарной орбиты астероида.
- 2.4. Выбор траектории полета к астероиду.
- 2.5. Обоснование алгоритма посадки на астероид и расчет основных параметров
- 2.5. Составление конструктивной схемы КА.

В результате анализа задач первого этапа был выбран небольшой околоземный астероид Круитни.

Выводы: исходя из имеющихся характеристик астероида, были определены первая и вторая космические скорости, а также высота стационарной орбиты и схема полета к астероиду. Предложен алгоритм посадки и расчет основных параметров. В работе была предложена конструкция КА для исследования выбранного комического объекта, исходя из предложенного алгоритма полета и посадки

Содержание

| | |
|--|----|
| 1. Введение..... | 5 |
| 2. Выбор объекта исследования..... | 5 |
| 2.1. Классификация астероидов и комет..... | 5 |
| 2.2. История исследования астероидов и комет..... | 8 |
| 2.3. Выбор объекта исследования..... | 9 |
| 3. Исследовательская часть..... | 10 |
| 3.1. Выбор схемы полета КА к астероиду..... | 10 |
| 3.2. Расчет некоторых параметров астероида..... | 13 |
| 3.3. Описание схемы исследования астероида космическим аппаратом..... | 14 |
| 3.4. Обоснование конструкции КА..... | 15 |
| 3.5. Расчет параметров троса..... | 17 |
| 4. Выводы..... | 18 |
| Список литературы..... | 19 |
| Приложения..... | 20 |

1. Введение.

Ученые всего космического сообщества задаются вопросами о сотворении и развитии Вселенной. При современном уровне развитии техники, человечество может запустить космический аппарат в дальний космос, для его изучения. Однако, существует целый класс малоизученных космических объектов, находящихся рядом с нами. Речь идет о кометах и астероидах Солнечной системы. Но чем могут быть интересны небольшие каменные глыбы, в изобилии заполняющие межпланетное пространство?

Основная причина, делающая исследование комет и астероидов важным и даже необходимым направлением современной науки, является возможность существенного прогресса в понимании вопроса формирования Солнечной системы. Параллельно с этим необходимо решать вопросы будущего. Добыча полезных ископаемых с поверхности космических тел не научная фантастика, а реальный способ сохранения экосистемы нашей планеты.

Безусловно, сейчас наука способна получать о небесных объектах куда больше полезной информации, нежели это было совсем недавно. Однако никакое, даже самое тщательное и кропотливое дистанционное наблюдение невозможно сравнить с непосредственными исследованиями. А значит, надо лететь. Причем, как оказалось, по многим критериям экспедиции к некоторым кометам и астероидам проще и дешевле, чем полет к тому же Марсу[1].

2. Выбор объекта исследования

2.1. Классификация астероидов и комет

Прежде приступить к выбору объекта исследования, нужно понять какие все же тела населяют нашу Солнечную систему. Существуют метеориды, астероиды, кометы, карликовые планеты, планеты. Основными критериями этой классификации стали размер небесного тела и природа его происхождения.

Метеориды – небесные тела, размером менее 30 метров.

Астероиды – небесные тела, имеющие размеры более 30 метров в диаметре и вращающиеся по околосолнечным орбитам.

Кометы - это небольшое небесное тело, обращающееся вокруг Солнца по растянутой орбите в виде конического сечения. При приближении к Солнцу, кометы проявляют активность и образуют кому, иногда хвост из газа и пыли. Состоит из спрессованного льда, камня и металла.

Планета – небесное тело, вращающееся вокруг Солнца и получающее от него свет и тепло.

Карликовая планета –это небесное тело, которое вращается по орбите вокруг Солнца, имеет достаточную массу для того, чтобы, в отличие от малых тел Солнечной системы, под действием сил гравитации поддерживать близкую к сферической форму, не является спутником планеты, не может, в отличие от планет, расчистить район своей орбиты от других объектов

Классификация комет

Классификацию комет, как и иных космических тел, можно провести по различным критериям: астрономическим, историческим и другим.

По астрономическому признаку кометы можно классифицировать по периоду обращения вокруг Солнца:

- короткопериодические - с периодом обращения менее 200 лет (кометы Галлея, Темпеля, Чурюмова -Герасименко). В настоящий момент обнаружено около 400 таких комет.

- долгопериодические – с периодом обращения более 200 лет(комета Донати).

Классификация астероидов

Классификация астероидов обширнее. Астероиды делятся по расположению:

- Главный пояс астероидов, расположен между орбитами Марса и Юпитера, на расстоянии 2,2 а.е. от Солнца.(рис.1)
- Пояс Койпера за орбитой Нептуна (удаленность в 35-50 а.е.), источник астероидов под названием «кентавры», а также комет с коротким периодом обращения. (рис.2)
- Облако Оорта–теоретическое сферическое формирование, наполненное ледяными объектами, находится на расстоянии 100000 а.е. от Солнца, из-за чего охватывает межзвёздное пространство (рис.3).
- Троянские астероиды - группа астероидов, движущаяся вокруг Солнца по орбите планеты (Земля, Марс, Юпитер) в 60° впереди или позади нее(рис.4).

Существует также немало астероидов, обращающихся вокруг Солнца ближе главного пояса. Тех из них, что сближаются с Землей, в зависимости от параметров орбиты относят к одной из следующих четырёх групп (традиционно называемых по названию первого открытого представителя):

- **амуры** ((1221) Амур) — астероиды, чьи орбиты целиком лежат дальше от Солнца, не пересекают орбиту Земли (рис.5) ;
- **аполлоны** ((1862) Аполлон) — астероиды, они в своём движении не просто проходят близ земной орбиты, а пересекают её (с внешней стороны) (рис.6);
- **атоны** (в честь астероида (2062) Атон) — астероиды, пересекают земную орбиту с внутренней стороны (рис.7);
- **атиры** ((163693) Атира) — астероиды, чьи орбиты целиком лежат ближе к Солнцу (рис.8).

Также существуют классификации, которые опираются на показатели альбедо, цвета и характеристики спектра отраженного солнечного света. На данный момент точно выделено 3 основных класса астероидов, в зависимости от химического состава метеоритов:

Класс С – основной класс тел, представляющих собой объекты темного спектра углеродистого характера. В него входит около трех четвертей всех известных астероидов. Вероятность наличия на них полезных ископаемых достаточно велика.

Один из самых известных представителей данного класса – Бамберга, самым же крупным астероидом класса С считается Гигея.

Класс S – второй по количеству объектов класс, включающий объекты с преимущественным кремниевым составом, за что еще получил название каменных. Яркость спектра (альбедо) этих тел средняя, а основными их химическими веществами считаются силикаты магния и железа (каменистые минералы). Ирида, Юнона, Амфитрита, Геркулина, Веста – самый яркий объект данной группы, Итокава – первое тело, чьи образцы поверхности были изучены учеными и второе, куда совершалась посадка космического корабля.

Класс М – третий класс, чье изучение проводится с большими сложностями. Среди всех небесных тел этого типа они самые яркие за счет содержания значительного количества металлов – никеля и железа. Самым значительным по величине представителем класса М является Психея.

2.2. История исследования астероидов и комет.

Астрономы еще со средних веков фиксировали движения комет. Так была открыта комета Галлея. В 1070-1080 г. – ее изобразили на гобелене Байе (сражение при Гастингсе 1066 года), и только в 1705 г. – Эдмунд Галлей выяснил, что объекты 1531-го, 1607-го и 1682-го годов представляют собою единую комету, которая должна вернуться в 1758 году. Его предсказание сбылось, и тело назвали в его честь.

Изучение астероидов началось после открытия в 1781 году Уильямом Гершелем планеты Уран. Были открыты Церера 1801 год, Паллада, Юнона, Веста 1807г. С тех пор каждый год обнаруживалось не менее одного нового астероида в год.

С развитием космонавтики изучение астероидов и комет вступили в новую эру. В 20в. и начале 21в. СССР, США, Япония, Европа запускали космические корабли к этим объектам. Суммарно около 30 космических миссий. Не все миссии увенчались успехом, не все корабли выполнили свои задачи, однако, было собрано много данных, позволивших продолжать изучение (См. Таблицу № 1).

2.3. Выбор объекта исследований.

Анализируя объем информации предыдущего раздела, можно выявить наиболее «интересные» астероиды и кометы. При этом интерес может быть разноплановым. С точки зрения научных исследований, изучения образования Вселенной и нашей Солнечной системы интерес представляют небесные тела, заброшенные из пояса Койпера и облака Оорта. По мнению ученого сообщества, именно в этих поясах обитают объекты, наиболее сохранившие первозданную структуру при зарождении Солнечной системы.

А вот с точки зрения разведки ресурсов, интерес представляют астероиды классов «М» и «С», так как содержание дорогостоящих элементов в них наиболее высок. При этом, это должны быть небесные тела, сближающиеся с Землей, космические аппараты и добывающее оборудование должны запускаться пока с орбиты Земли.

Анализ возможно интересных небесных объектов привел к выбору астероида Круитни. Во-первых, он входит в состав группы атонов и пересекает орбиты трех планет: Венеры, Земли и Марса. Во-вторых данный астероид движется в орбитальном резонансе с Землей, период его обращения вокруг Солнца почти равен периоду обращения Земли. В-третьих, астероид Круитни относится к редкому классу Qастероидов по спектральному составу. В спектральном анализе астероида присутствуют оливин и пироксен, а также признаки присутствия металлов, что может принести немалую прибыль в случае исследования и разработки полезных ископаемых астероида.

Круитни обладает довольно вытянутой эллиптической орбитой, вследствие чего в своих крайних положениях он приближается к орбите Меркурия, а затем, пересекая орбиты Венеры и Земли, уходит к орбите Марса (рис. 9). А из-за орбитального резонанса с Землей, Круитни пролетает свою орбиту в течение одного земного года, вследствие чего его иногда называют второй Луной. Сближение с Землей носят регулярный характер. На протяжении последних почти тридцати лет максимальное сближение Круитни с Землей происходит в ноябре. Такая частота и постоянство сближений могут облегчить исследование этого небесного тела.

3. Исследовательская часть

3.1. Выбор схемы полета к астероиду

Для того, чтобы понять каким способом можно добраться к астероиду с околоземной орбиты, рассмотрим взаимное расположение орбит Круитни и Земли (рис.9)

Как видно из рисунка, перицентр орбиты Круитни находится внутри орбиты Земли, а апоцентр между орбитами Земли и Марса.

Наиболее простым и экономичным способом перехода с одной орбиты на другую признана Гомоновская двухимпульсная схема (рис 10).

Применительно к нашему случаю, есть два варианта перехода с околоземной орбиты 1 на орбиту астероида Круитни - по орбите перехода 3 в апоцентр орбиты астероида, и по орбите 4 в перицентр орбиты астероида.

Для проведения расчетов нам будут необходимы следующие величины:

$R_A = 2,261 \cdot 10^{11}$ м – афелий астероида Круитни;

$R_P = 7,24 \cdot 10^{10}$ м – перигелий астероида Круитни;

$R_B = R_D = 1,496 \cdot 10^{11}$ м – радиус земной орбиты вокруг Солнца;

$R_{01} = 6,6 \cdot 10^6$ м – радиус Земли;

$\mu_c = GM_c = 1,327 \cdot 10^{20} \text{ м}^3/\text{с}^2$ - гравитационный параметр Солнца;

$\mu_z = GM_z = 3,987 \cdot 10^{14} \text{ м}^3/\text{с}^2$ - гравитационный параметр Земли.

Чтобы понять, какой из способов более экономичный, необходимо знать суммарный импульс в первом и во втором случаях, а поскольку масса космического аппарата в обоих вариантах будет одинакова, расчеты сводятся только к определению скоростей в точках перехода.

Орбитальную скорость тела на эллиптической орбите можно вычислить из выражения:

$$V = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)},$$

где μ - гравитационный параметр, r – расстояние между телами, a – длина большой полуоси эллипса.

Для орбит в нашей схеме (рис.10):

$$a_2 = \frac{AP}{2} = \frac{CP+CA}{2} = \frac{R_P+R_A}{2} = 1,492 \cdot 10^{11} \text{ м};$$

$$a_3 = \frac{AB}{2} = \frac{CB+CA}{2} = \frac{R_B+R_A}{2} = 1,878 \cdot 10^{11} \text{ м};$$

$$a_4 = \frac{DP}{2} = \frac{CP+CD}{2} = \frac{R_P+R_D}{2} = 1,11 \cdot 10^{11} \text{ м};$$

Итак, рассчитаем скорость перехода с орбиты 1 на орбиту 2.

Вариант №1.(Рис. 10)

Суммарная скорость по траектории 3 будет состоять из суммы скоростей в точках В и А:

$$1) V_{\Sigma 3} = V_{B,1-3} + \Delta V_{A,3-2} \quad (1)$$

$V_{B,1-3}$ – скорость в точке В

$\Delta V_{A,3-2}$ – скорость в точке А

2) Найдем $V_{B,1-3}$ для точки В:

$$V_{B,1-3} = V_{кр01} \left[\sqrt{2 + \left(\frac{\Delta V_{B,1-3}}{V_{кр01}} \right)^2} - 1 \right], \text{ где (2)}$$

$$V_{кр01} = \sqrt{\frac{\mu_3}{R_{01}}} = \sqrt{\frac{3,987 \cdot 10^{14}}{6,6 \cdot 10^6}} = 7772,33 \text{ м/с}, \quad (3)$$

- первая космическая скорость Земли

$$\Delta V_{B,1-3} = V_{эл в 3} - V_{кр1}, (4)$$

разница скоростей в точке В, где

$$V_{кр1} = \sqrt{\frac{\mu_c}{R_B}} = \sqrt{\frac{1,327 \cdot 10^{20}}{1,496 \cdot 10^{11}}} = 29\,783 \text{ м/с} \quad (5)$$

линейная скорость вращения Земли вокруг Солнца.

$$V_{ЭЛ В 3} = \sqrt{\mu_c \left(\frac{2}{R_B} - \frac{1}{a_3} \right)} \quad (6)$$

Раскрываем выражение (4) с учетом (5) и (6) :

$$\Delta V_{B,1-3} = \sqrt{\mu_c \left(\frac{2}{R_B} - \frac{1}{a_3} \right)} - V_{кр1} = 2889,03 \text{ м/с.} \quad (7)$$

Подставив (3) и (7) в (2), вычислим

$$V_{B,1-3} = 7772,33 \left[\sqrt{2 + \left(\frac{2889,03}{7772,33} \right)^2} - 1 \right] = 3\,592,73 \text{ м/с.} \quad (8)$$

- скорость в точке В.

3) Определим скорость для точки А:

$$\Delta V_{A,3-2} = V_{ЭЛ А 3} - V_{ЭЛ А 2} \text{ - аналогично (4)} \quad (9)$$

$$V_{ЭЛ А 3} = \sqrt{\mu_c \left(\frac{2}{R_A} - \frac{1}{a_3} \right)} \quad (9.1)$$

$$V_{ЭЛ А 2} = \sqrt{\mu_c \left(\frac{2}{R_A} - \frac{1}{a_2} \right)} \quad (9.2)$$

Подставляем в (9) выражения (9.1) и (9.2), получим:

$$\Delta V_{A,3-2} = \sqrt{\mu_c \left(\frac{2}{R_A} - \frac{1}{a_3} \right)} - \sqrt{\mu_c \left(\frac{2}{R_A} - \frac{1}{a_2} \right)} = 4\,745,9 \text{ м/с} \quad (10)$$

Подставим (8) и (10) в (1) получим суммарную скорость по траектории 3:

$$V_{\Sigma 3} = 3\,592,735 + 4\,745,9 = 8\,338 \text{ м/с} \quad (11)$$

Вариант № 2.(Рис.10)

Суммарная скорость по траектории 4 будет состоять из суммы скоростей в точках D и P:

$$V_{\Sigma 4} = V_{D,1-4} + \Delta V_{P,4-2} \quad (12)$$

Рассчитаем скорость в точке D:

$$V_{D,1-4} = V_{кр01} \left[\sqrt{2 + \left(\frac{\Delta V_{D,1-4}}{V_{кр01}} \right)^2} - 1 \right], \quad (13)$$

где

$$\Delta V_{D,1-4} = V_{кр1} - \Delta V_{эл D 4} = V_{кр1} \left(1 - \sqrt{\frac{2R_P}{(R_D + R_P)}} \right) = 5\,729,28 \text{ м/с} \quad (14)$$

Вычислим (13) с учетом найденного (14):

$$V_{D,1-4} = 4\,622,95 \text{ м/с} \quad (15)$$

Рассчитаем скорость в точке P:

$$\begin{aligned} \Delta V_{P,4-2} &= V_{эл P 2} - \Delta V_{эл P 4} = \sqrt{\mu_c \left(\frac{2}{R_P} - \frac{1}{a_2} \right)} - \sqrt{\mu_c \left(\frac{2}{R_P} - \frac{1}{a_4} \right)} = \\ &= \sqrt{\frac{\mu_c}{R_P}} \left(\sqrt{\frac{2R_A}{R_P + R_A}} - \sqrt{\frac{2R_D}{R_P + R_D}} \right) = 2\,992,47 \text{ м/с} \end{aligned} \quad (16)$$

Подставив (16) и (15) в (12) получим:

$$V_{\Sigma 4} = 4\,622,946 + 2\,992,47 = 7\,615,425 \text{ м/с} \quad (17)$$

Сравнив значения (17) и (11) приходим к выводу, что **маневр перехода с орбиты Земли на орбиту астероида по энергетическим затратам экономичнее производить по траектории 4** (Рис.10).

3.2. Расчет параметров астероида.

3.2.1 Расчет первой и второй космических скоростей для астероида Круитни.

Составим условие динамического равновесия космического аппарата массой m на круговой орбите астероида:

$$F_{гp} = F_{ц} \Rightarrow G \frac{mM}{R^2} = \frac{mV^2}{R} \Rightarrow V = \sqrt{G \frac{M}{R}}, \quad (18)$$

Подставим в (18) известные параметры для астероида, получим

$$V_{1,a} = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 1,3 \cdot 10^{14}}{5 \cdot 10^3 / 2}} = 1,866 \text{ м/с} \quad (19)$$

Вторая космическая скорость – это минимальная скорость, которую нужно придать КА, чтобы он вышел за пределы влияния гравитационного воздействия небесного тела. Из закона сохранения энергии:

$$\frac{mV_2^2}{2} - G \frac{mM}{R} = 0 \quad (20)$$

Откуда

$$V_{2,a} = \sqrt{2G \frac{M}{R}} \quad (21)$$

Сравнивая (21) с (18), делаем вывод:

$$V_{2,a} = \sqrt{2}V_{1,a} = 1,414 * 1,866 = 2,638 \text{ м/с} \quad (22)$$

3.2.2 Расчет линейной скорости точки на астероиде и высоты стационарной орбиты.

Как видно из предыдущих расчетов, космические скорости для астероида существенно не велики. Учитывая, что период обращения вокруг своей оси астероида Круитни тоже невелик, рассчитаем линейную скорость вращения точки на поверхности астероида и сравним ее с первой космической скоростью астероида.

$$V_{\text{пов}} = \frac{2\pi R}{T} = \frac{2*3,14*2,5*10^3}{27,4*3600} = 0,15 \text{ м/с} \quad (23)$$

Как видно из сравнения (19) и (23), точка на поверхности астероида имеет меньшую скорость, чем первая космическая у поверхности, а значит есть орбита вокруг астероида, находясь на которой КА будет висеть над одной точкой поверхности. Такая орбита называется стационарной. Для ее расчета перепишем (18) с учетом круговой скорости:

$$G \frac{mM}{R^2} = m\omega^2 R, \quad (24)$$

откуда

$$R = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} = 12\,884,85 \text{ м.} \quad (25)$$

Отнимем из полученного результата радиус астероида и получим высоту стационарной орбиты:

$$H_{\text{стац}} = R - R_a = 12\,884,85 - 2\,500 = 10\,384 \text{ м} \quad (26)$$

3.3. Описание схемы исследования астероида космическим аппаратом

Подытожим все проведенные нами ранее расчеты. Космический аппарат после выведения на околоземную орбиту совершает двух импульсный переход на орбиту астероида Круитни (Рис. 11), где и захватывается гравитационным воздействием астероида. Аппарат переходит на высокую круговую орбиту астероида.

С этой орбиты проводятся основные исследования астероида при помощи всей научной аппаратуры, находящейся на борту. Проводится детальная съемка поверхности для создания точной карты астероида с целью выбора площадки для забора грунта.

После выбора места забора грунта, аппарат переводится на стационарную орбиту астероида, тем самым зависает над неподвижной относительно него точкой.

Далее проводится забор образцов грунта без посадки орбитального модуля на астероид при помощи тросовой системы. После забора капсула с образцами грунта посредством той же тросовой системы возвращается на орбитальный модуль.

В последствии, КА совершает такой же двух импульсный переход на околоземную орбиту. В следствие того, что существует вероятность нахождения в образцах грунта неизвестных бактерий и микроорганизмов, целесообразно не доставлять капсулу на Землю, а провести предварительные исследования на околоземной орбите на МКС в целях безопасности. Тем самым мы облегчаем конструкцию возвращаемого модуля, так как не нужна термозащита, используемая для входа в атмосферу, парашютная система и ДУМП, а также тормозная ДУ для схода спускаемого аппарата с орбиты.

3.4. Обоснование конструкции космического аппарата.

Исходя из описанной в предыдущей главе схемы полета, выделим основные участки работы КА (см. рис12):

- выведение на околоземную орбиту;
- участок двух импульсного перехода на орбиту астероида;
- функционирование на около астероидных орбитах;
- двух импульсный переход на орбиту Земли;
- захват возвратной капсулы МКС ;

Анализ выделенных нами участков показывает наличие двух переходов сначала на орбиту астероида, затем обратно на орбиту Земли. То есть предполагается минимум четыре включения маршевой двигательной установки на короткий промежуток времени с созданием довольно мощной тяги во время включения.

Выбор типа двигательной установки становится очевидным – твердотопливные не подходят, так как они предусматривают однократное

включение. Ионные двигатели хотя и являются наиболее экономными по расходу рабочего тела и рекорсменами по продолжительности работы, создают небольшую тягу. Поэтому наиболее подходящей ДУ для нашего КА будут жидкостная ДУ.

Между двумя переходами на орбиту астероида и обратно будет довольно продолжительный этап функционирования КА, на котором будет необходима ориентация и стабилизация КА для съемки поверхности. Такие манипуляции с КА с одной, но большой по массе ДУ будут весьма энергозатратными. Поэтому логично наличие двух ДУ – первая совершает двух импульсный переход на орбиту астероида, затем отстреливается. На орбите остается функционировать орбитальный модуль с маршевой ДУ для возврата на околоземную орбиту.

Подобная схема компоновки исследовательских КА уже применялась в нашей космической отрасли при создании аппаратов серии «Фобос»

Данный космический аппарат, разработан как унифицированный базовый аппарат для осуществления многоцелевых и разноплановых экспедиций с целью исследования планет и малых тел (комет, астероидов, спутников планет) Солнечной системы. Аппарат может маневрировать в непосредственной близости от поверхности небесных тел, обладающих слабым гравитационным полем.[7] Что очень близко нашей схеме полета.

Конструкция аппарата предусматривает возможность размещения на нём, одновременно или выборочно, технических средств дистанционного зондирования (радиолокаторы, телескопы и т. д.), а также исследовательских зондов (спускаемых аппаратов, малых станций).

Таким образом определен состав конструкции нашего КА.

Космический аппарат состоит из орбитального блока (ОБ),.[7] (Рис.13) и автономной двигательной установки (АДУ), (Рис.14).

Орбитальный блок, в свою очередь, состоит из перелетного модуля и возвращаемого аппарата.

Перелетный модуль содержит всю основную научную аппаратуру, систему энергоснабжения с солнечными батареями (СБ), системы спутниковой связи, ориентации, стабилизации и др. Возвращаемый аппарат представляет собой автономный модуль со своей ДУ, необходимой для коррекции на околоземной орбите, с энергетической установкой, системой передачи и обработки данных и тросовым модулем. Тросовый модуль позволит не приземляясь на поверхность астероида, опустить устройство для забора образцов грунта, провести необходимые манипуляции и вернуть пробы капсулу с образцами грунта. Возвращаемый аппарат вернется к МКС, и с помощью тросового модуля передаст капсулу с образцами в специальное заборное устройство на МКС.

3.5. Расчет параметров троса.

Рассмотрим равновесие сил, действующих на исследовательский зонд перед его касанием поверхности астероида (Рис.16).

$$F_T = T + F_{\text{ц}} \quad (27)$$

Здесь F_T - сила притяжения к астероиду, T - сила натяжения троса,

$F_{\text{ц}}$ -центробежная сила.

Выразим силу натяжения

$$T = F_T - F_{\text{ц}} = G \frac{M \cdot m}{r^2} - m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot (g_0 - \omega^2 \cdot r) \quad (28)$$

Пусть $m = 10$ кг – масса зонда, $r = 2500$ м, $g_0 = 0,0014$ м/с², $S = 0,1$ мм · 0,1 мм = 10^{-8} м² – площадь поперечного сечения троса. Найдём круговую скорость

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{t} = \frac{2 \cdot \pi}{27,4 \cdot 3600} = 6,36 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1} \quad (29)$$

Подставим (29) в (28) :

$$T = 10 \cdot (0,0014 - 6,36 \cdot 10^{-5^2} \cdot 2500) = 0,0139 \text{ Н} \quad (30)$$

Найдём внутреннее напряжение в материале троса:

$$\sigma = \frac{T}{S} = \frac{0,0139}{10^{-8}} = 1,39 \cdot 10^6 \text{ Па} \quad (31)$$

Сравним полученное напряжение с напряжениями разрушения материалов троса из таблицы 2. Все приведенные материалы имеют большой запас прочности, поэтому наиболее целесообразным будет доступный кевлар.

Найдём массу троса, изготовленного из кевлара:

$$m_{\text{тр}} = S \cdot l_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{тр}} = 10^8 \cdot 10^4 \cdot 1440 = 0,144 \text{ кг.} \quad (32)$$

4. Выводы.

В ходе научно-исследовательской работы с помощью методов анализа, сортировки, сопоставления научных данных и исторических фактов, взятых из открытых источников в сети Интернет, были получены следующие результаты:

- разобрались в определениях малых небесных тел;
- составили классификацию комет и астероидов по своему положению в Солнечной системе и по химическому составу;
- составили краткую историческую справку изучения комет и астероидов зарубежными и отечественными космическими агентствами;
- был выбран объект для исследования и расчетов характеристик полета КА к поверхности объекта.

В расчетной части работы были определены:

- скорости, необходимые для перехода КА с орбиты земли на орбиту астероида по двум различным схемам полета;
- была доказана целесообразность выбранной схемы полета;
- рассчитаны первая и вторая космические скорости для выбранного астероида, а также высоту для стационарной орбиты;
- описали схему всего полета КА.

Далее было дано обоснование конструкции КА, его составных частей, наличие необходимых систем в каждой из них исходя из схемы полета, а также проведен расчет параметров троса, подобран материал из условия на разрыв.

Список литературы

1. Гулютин Д. К тайнам комет и астероидов. //Звездочет. 1998, 9
2. Куликовский П.Г., Справочник любителя астрономии 2002, Изд. 7, испр. URSS. 2017. 704 с
3. Шевченко В.Г., Мохамед Р.А. – исследования астероидов с помощью космических аппаратов – Астрономический вестник, 2005, том 39, № 1.
4. <http://galspace.spb.ru/> - Хронология полетов к астероидам и кометам - [Сайт] (дата обращения: 25.01.2020).
5. <https://ru.wikipedia.org/> - Спектральные классы астероидов - Свободная энциклопедия «Википедия» [Сайт]. (дата обращения: 25.01.2020).
6. <https://ru.wikipedia.org/> - Гомоновская траектория - Свободная энциклопедия «Википедия» [Сайт]. (дата обращения: 25.01.2020).
7. <https://ru.wikipedia.org/> - Фобос-Грунт - Свободная энциклопедия «Википедия» [Сайт]. (дата обращения: 25.01.2020).
8. <https://web.archive.org/web/20120623102933/http://www.websib.ru/noos/method/astronom/System/Astero.htm> - Астероиды - электронный архив [Сайт] (дата обращения: 25.01.2020).
9. http://scask.ru/d_book_msp.php?id=95// - Механика космического полета в элементарном изложении – электронная книга (дата обращения: 25.01.2020).

Приложения

Приложение 1. Краткая хронология изучения комет и астероидов.

1984 - 86 гг. – Комета Галлея. КА Вега-1 , Вега-2, СССР, сблизилась с кометой на расстояние 10000 км и 3000 км. КА «Giotto» ЕКА, приблизился к комете на рекордное расстояние 596 км. КК Суйсэй и Сакигакэ (Япония), КК «Эксплорер-59» (США);

1989 г. - "Galileo" (США). При пролете через пояс астероидов запечатлел сравнительно большой астероид Ида и спутник Дактиль. Это первый двойной астероид, обнаруженный исследователями;

1981- 2001 г. – экспериментальная автоматическая межпланетная станция НАСА «DeepSpace 1» прошла мимо кометы Борелли и передала на Землю много ценных научных данных и изображений;

2003-2005 гг.- "Hayabusa" (Япония) аппарат приблизился к астероиду Итокава на расчётные 20 км и начал проводить детальные исследования. В связи с выходом из строя гироскопов, выполнение намеченной программы оказалось под угрозой;

2004 г. – аппарат НАСА «Stardust» (США) собирает образцы пыли из кометы Вильда-2 пролетая мимо кометы на расстояние 236 км, и фотографирует ее ядро;

2005 г. – ударник «DeepImpact» (НАСА США) сталкивается с Темпель-1, чтобы изучить внутренний состав ядра;

2010 г. – Миссия «EROXI» (НАСА США), изучение комет Хартли-2 и поиск экзопланет вокруг других звезды;

2011 г. – аппарат «Stardust» (НАСА США) приближается к Темпель-1, фотографирует противоположную сторону ядра и отмечает эволюцию поверхностного слоя;

2004-2014г.– аппарат "Rosetta" ЕКА добрался к комете 67Р/Чурюмова-Герасименко и спустил модуль «Филы» на поверхность. Выход на орбиту в качестве квази спутника;

2016 г.– запущена американская межпланетная станция OSIRIS-REX, предназначенная для доставки образцов грунта с астероида (101955) Бенну. Забор грунта запланирован на август 2020 г;

2014г. – наст. вр. – Япония. КК «Hayabusa» -2» приземлился на поверхность астероида Ryugu. Роботы Rover-1A и Rover-1B передали первые снимки поверхности. Роботы успешно выполнили запланированные исследования состава грунта и свойств астероида и передали данные на орбитальный аппарат MASCOT.

Приложение 2.Альбом рисунков

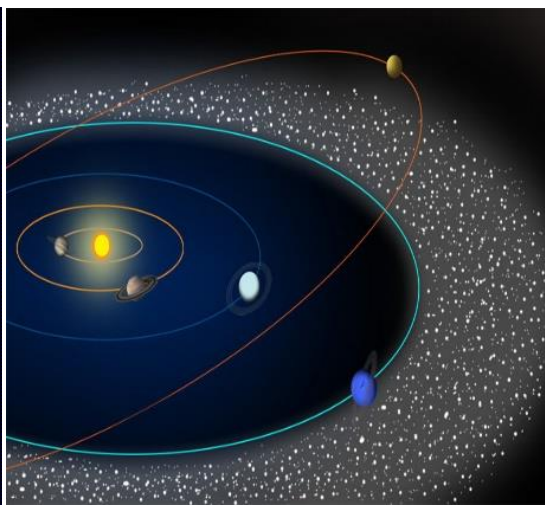
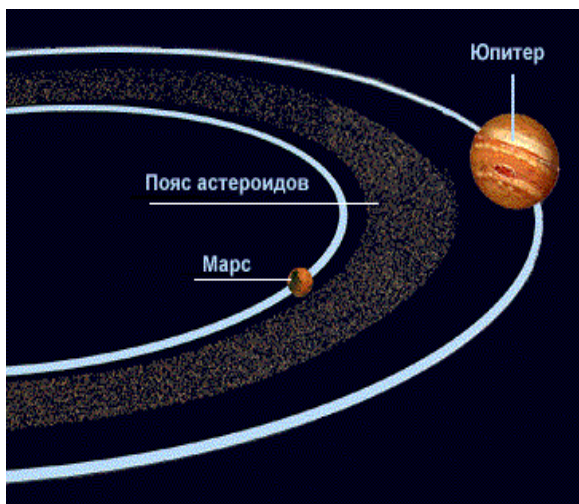


Рисунок 1. Главный пояс астероидов

Рисунок 2. Пояс Койпера

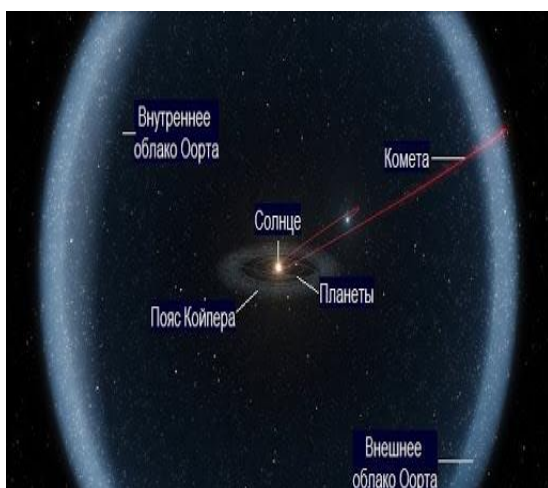


Рисунок 3. Облако Оорта

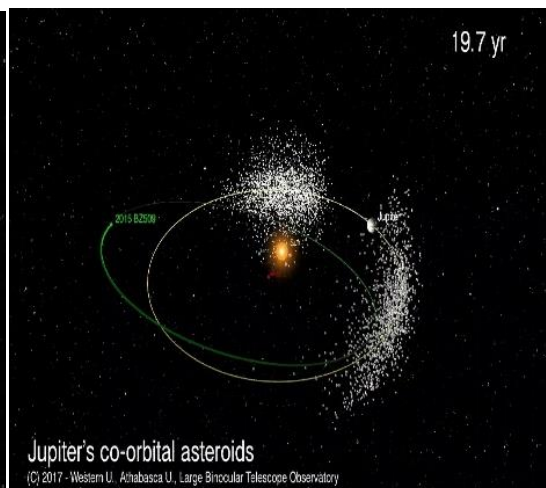


Рисунок 4. Троянские астероиды

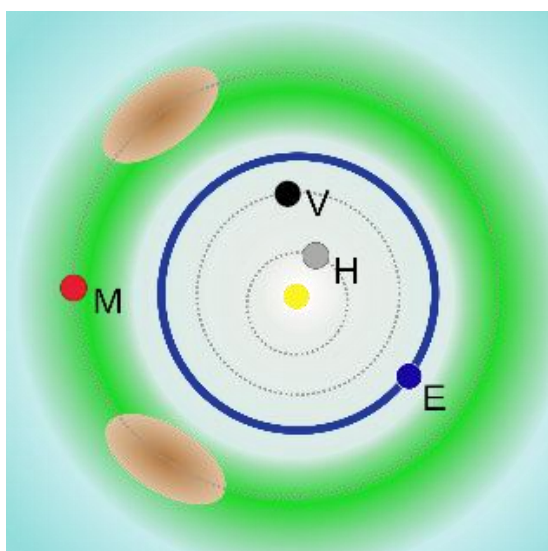


Рисунок 5. Амуры

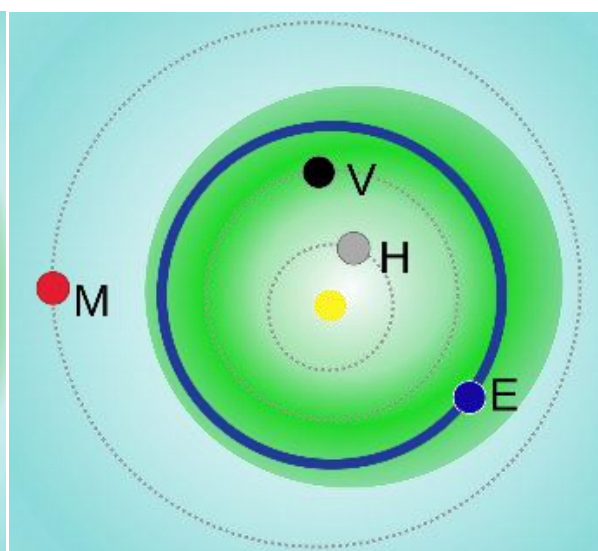
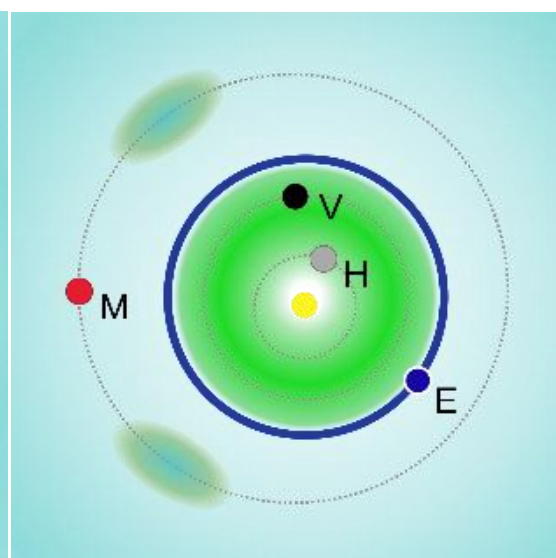
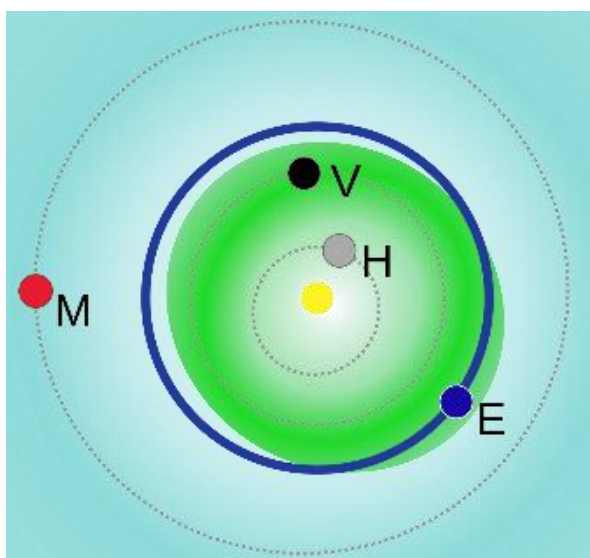


Рисунок 6. Аполлоны



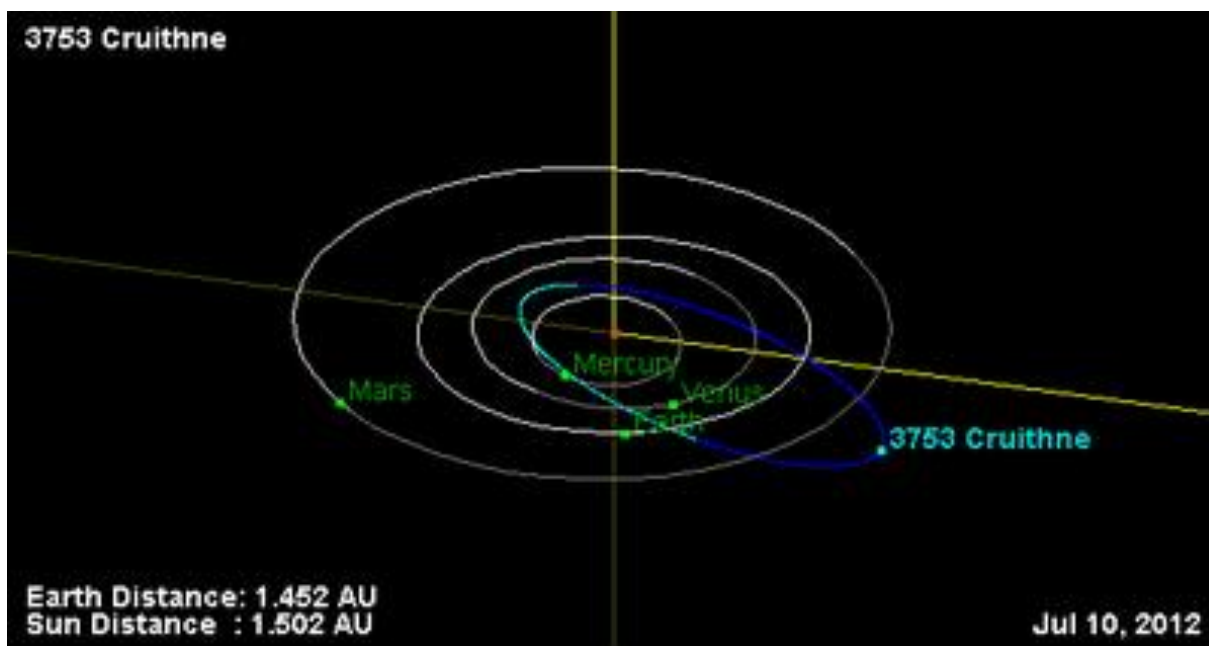
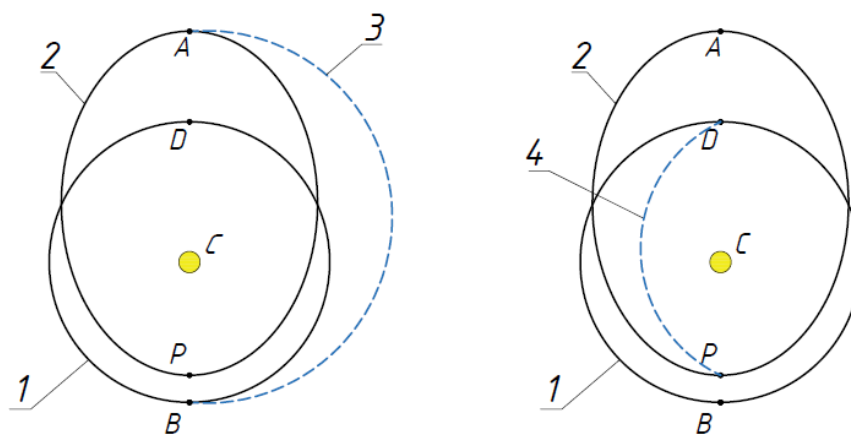


Рисунок 9. Орбита астероида Круитни



Вариант А

Вариант В

Рисунок 10. Варианты Гомоновского двух импульсного перехода:

1 – орбита Земли; 2 – орбита астероида; 3,4 – переходные эллиптические орбиты

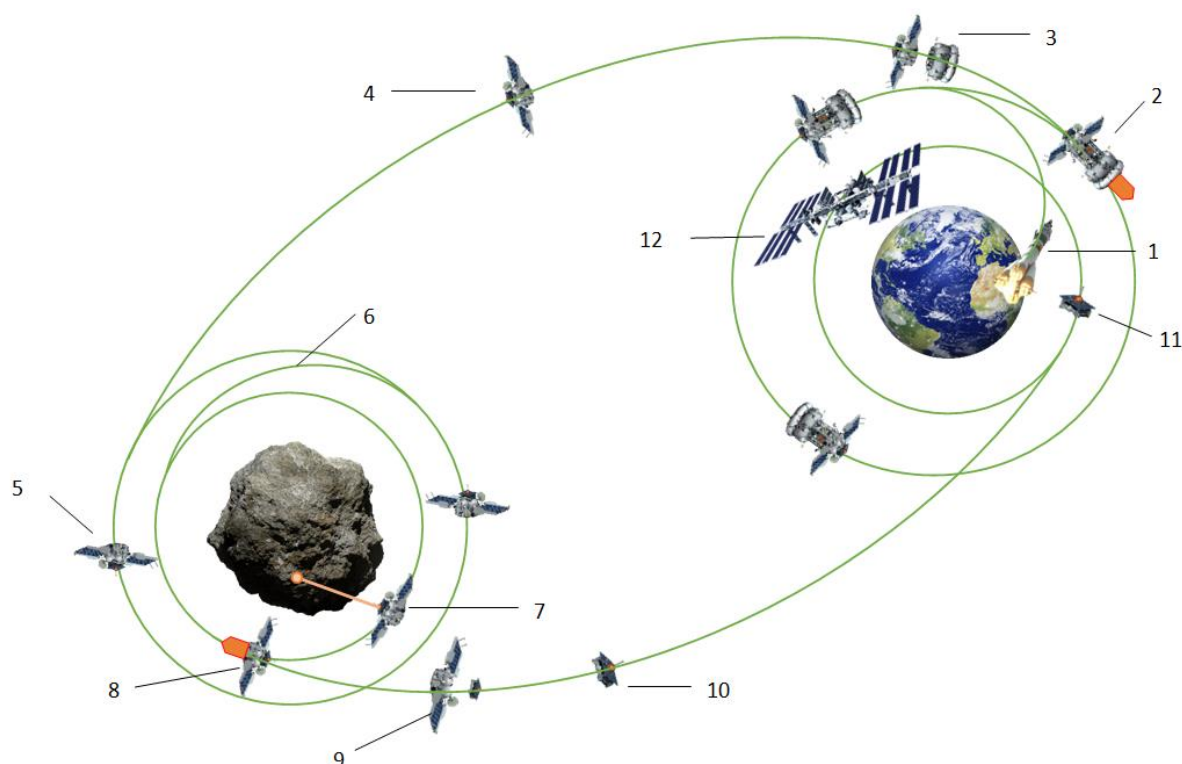


Рисунок 11. Схема полета КА:

1 – участок выведения на околоземную орбиту; 2 – маневр выведения на орбиту перехода; 3 – отделение автономной двигательной установки; полет по гомоновской траектории; 5 – переход на круговую орбиту астероида; 6 – перевод КА на стационарную орбиту; 7 – забор образцов грунта; 8 – маневр выведения на орбиту перехода астероид-Земля; 9 – отделение возвращаемого модуля от орбитального; 10 – полет по переходной орбите; 11 – переход на околоземную орбиту; 12 – захват возвращаемого модуля МКС.

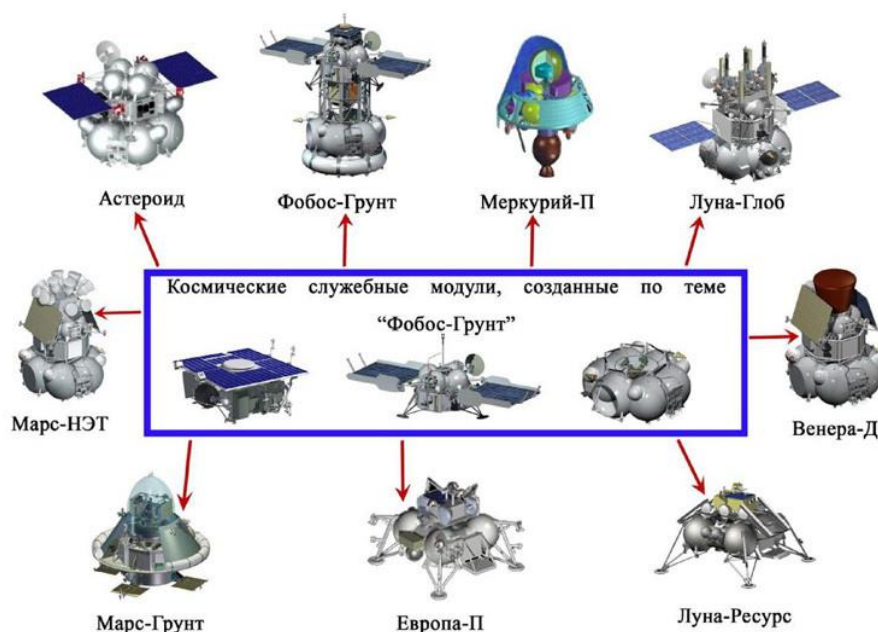


Рисунок 12. Семейство КА на основе универсальной платформы Фобос



Рисунок 13 . Орбитальный модуль



Рисунок 14. Автономная двигательная установка



Рисунок 15. Возвращаемый модуль с тросовой системой и капсулой с грунтом.

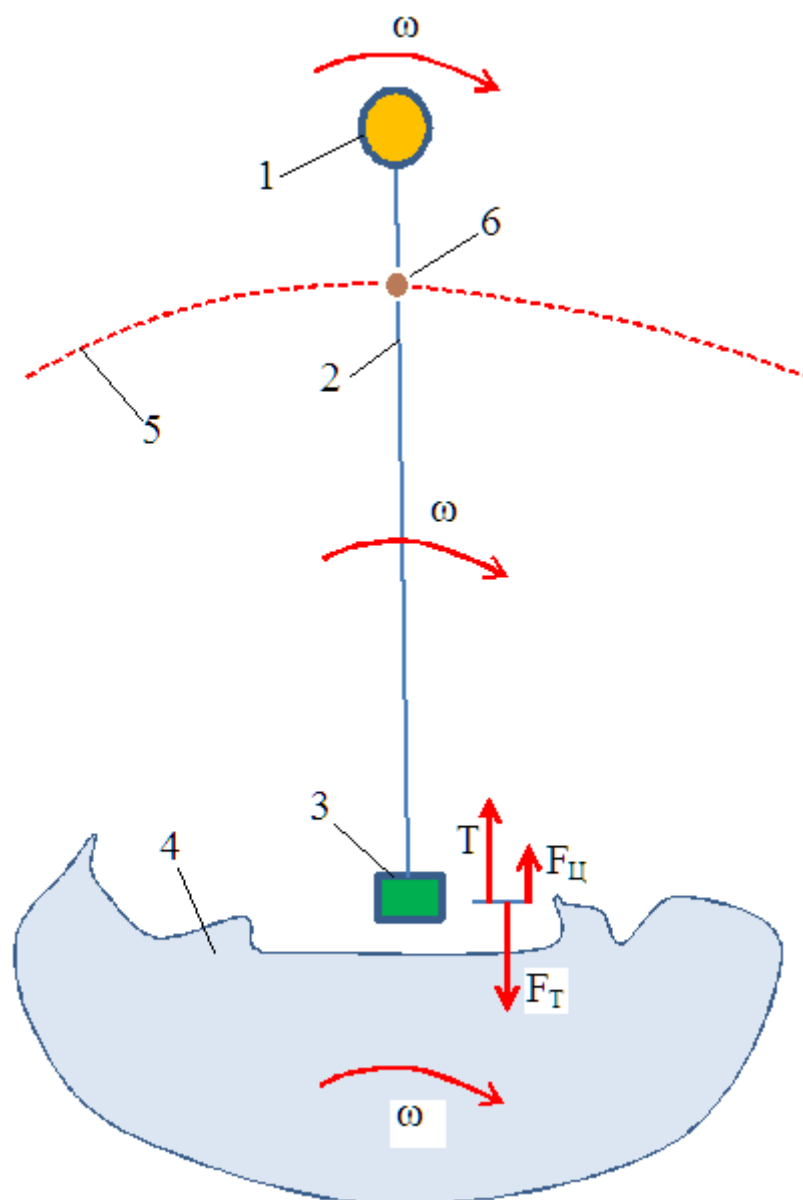


Рисунок 16. Расчет тросовой системы:

- 1- Космический аппарат, 2-трос, 3-исследовательский зонд, 4-поверхность астероида, 5-стационарная орбита, 6-условное обозначение центра тяжести тросовой системы.

Приложение 3. Таблицы

| | |
|------------------------------|-------------------------|
| Период обращения (P) | 364,008 суток |
| Средняя орбитальная скорость | 27,723 км/с |
| Диаметр | 5 км |
| Масса | $1,3 \cdot 10^{14}$ кг |
| Плотность | 2,000 г/см ³ |
| Период вращения | 27,4 ч |
| Спектральный класс | Q |
| Перигелий(q) | 72,403 млн км |
| Афелий(Q) | 226,11 млн км |

Таблица 1. Основные характеристики астероида Круитни (3753)

| Материалы | Плотность, $\rho \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | Предел прочности σ , ГПа | Высота разрыва $\frac{\sigma}{\rho g}$, км |
|--|--|---------------------------------|---|
| SWCN, волокнистые углеродные нанотрубки | 2266 | 50 | 2200 |
| T1000G, графитовое волокно | 1810 | 6,4 | 361 |
| Zilon PBO, полибензоксезольное волокно | 1560 | 5,8 | 379 |
| Spectra 2000, растянутые цепочки волокон полиэтилена | 970 | 3,0 | 316 |
| M5, объемный полимер сотовой структуры | 1700 | 5,7 | 342 |
| Планируемый M5 | 1700 | 9,5 | 570 |
| Kevlar 49, арамидное волокно | 1440 | 3,6 | 255 |

Таблица 2. Основные параметры материалов для изготовления троса.