

Межрегиональная олимпиада школьников

«Будущие исследователи — будущее науки»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАЧАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОРБИТАЛЬНОГО МАНЕВРИРОВАНИЯ

Секция: Физика

Научный руководитель

учитель физики высшей квалификационной категории

МБОУ СОШ №12, город Королёв, Московская область

Егорова Светлана Сергеевна

(ученая степень, звание, должность)



(подпись)

Егорова С.С.

(расшифровка подписи)

Количество баллов,
полученных на защите

74 (семьдесят четыре)

(заполняется председателем жюри)

Председатель жюри



(подпись)

Ансенал В.И.

(расшифровка подписи)

Работу выполнил
учащийся 10 класса
Муниципального бюджетного общеобразовательного учреждения «Средняя
общеобразовательная школа №12» городского округа Королёв Московской
области (МБОУ СОШ №12)



(полное наименование учебного заведения)

Город Королёв, Московская область

(название населенного пункта)

Голубев Алексей Михайлович

(Ф.И.О. учащегося ПОЛНОСТЬЮ)

**Саров
2025 год**

Содержание

Аннотация	3
Введение	4
Анализ литературы	6
Первые результаты исследования – гравитационная стабилизация	7
Оценочный расчёт длины троса для возвращения КА на Землю	9
Использование эффекта качательного движения	11
Выводы	15
Список литературы	16
Приложение. Проверка в системе «Антиплагиат» с уникальностью 95%	17

Аннотация

В работе обсуждается вопрос альтернативной замены опасного химического топлива для маневрирования космического аппарата (КА) на орбите. Для выполнения манёвров предлагается использовать энергию качательного движения КА, который должен иметь вытянутую форму. По сути – это накопитель механической энергии, но только не в виде известных, традиционных маховиков, а за счёт особенностей вытянутых орбитальных тел. В работе продолжается обсуждение применения свойств центрального гравитационного поля Земли для управления движением КА. Объектом изучения являются тросовые системы. В работе Екимовской А.А. было предложено использовать энергию вращательного движения для орбитального маневрирования [1]. По сути – это новый вид КА [2]. В этой работе предлагается использовать для маневрирования энергию качательного движения КА. Подобные исследования выполнялись в РКК «Энергия» им. С.П.Королёва [3]. Цель работы заключается в совместном использовании энергии качательного и вращательного движения КА. Оценена энергия качательного движения для случая начального горизонтального расположения тросовой системы. Тросовая система предполагается симметричной, состоящей из двух одинаковых точечных масс. В процессе четверти периода качания системы потенциальная энергия максимально уменьшилась, значит, кинетическая энергия максимально увеличится. Определена скорость двух КА при вертикальной связке. Для стандартной опорной орбиты высотой 200 км и длине троса 50 км дополнительная от качательного движения скорость равна 20 м/с. Такое значение скорости существенно для орбитальных манёвров. Достаточно отметить, что для возвращения космонавтов на Землю требуется торможение приблизительно 100 м/с. Таким образом, доказано, что тросовая система на низких орбитах является альтернативой химическому топливу или его дополнению, что повышает безопасность орбитальных манёвров.

Введение

Цель работы заключается в расширении маневренных возможностей космического аппарата на орбите. Актуальность такой задачи стала следствием развития и применения малых космических аппаратов (КА). В малых конструкциях нет места для размещения двигательной установки и запаса химического топлива, а также нет места для размещения систем управления работой двигателя. Получилось, что малые КА являются спутниками без стабилизации и без возможности маневрирования на орбитах. О возвращении малого КА на Землю речь не идёт не только из-за отсутствия теплозащиты, для которой тоже нет места, но опять-таки из-за малого запаса энергии. В основном малые КА ориентируются небольшими запасами энергии для решения ограниченных задач, например, при фотографировании поверхности Земли. Но обычно в таких конструкциях стабилизации нет или она является пассивной. В любом случае альтернативный запас энергии необходим. Получилось противоречие. С одной стороны, конструкцией на орбите надо управлять, но с другой стороны из-за развития электроники размеры корпусов стали такими маленькими, что управляющие двигатели, системы и запасы химического топлива не помещаются в заданные нормы, иначе малый КА перестанет быть таковым.

Управление малыми КА во время орбитального полёта надо вести в двух направлениях.

Во-первых, стабилизировать положение конструкции на орбите без использования химического топлива. Прошлая авторская работа была посвящена пассивной, гравитационной стабилизации КА [4]. Суть этой работы заключалась в практическом применении свойств вытянутых тел в неоднородном центральном гравитационном поле тяжести Земли. Часть КА, которая расположена ближе к центру тяготения, имеет вес больше, чем другая часть КА, удалённая от этого центра. Значит, на орбите для вытянутого КА возникает крутящий момент, который стремится расположить длинную ось

конструкции по местной вертикали. Гравитационная стабилизация уже применяется на практике. Но в процессе гравитационной стабилизации конструкция совершает качательное движение вокруг центра масс. Опять появилась задача демпфировать, устранить качания, когда КА достигнет нужного положения. Это означает, что опять задача свелась к энергетическому обеспечению. До сих пор эта задача практически не решена однозначно, поэтому гравитационная стабилизация не очень часто применяется в освоении космического пространства.

Во-вторых, управление малыми КА требует решить задачу орбитального маневрирования. Эта задача является новой. До сих пор малые КА выводились на конкретные орбиты для выполнения целевой задачи, а потом просто прекращали активную работу, превращаясь в космический мусор. Если в конструкции предусмотреть запас энергии, пусть даже сравнительно небольшой, то появляется возможность орбитального маневрирования. Маневрировать на орбитах важно по следующим причинам:

- 1) расширяется перечень целевых задач, решаемых малым КА;
- 2) появляется возможность причаливания малых КА к орбитальной станции или другим аппаратам для решения расширенного круга задач;
- 3) появляется возможность корректировки неточностей параметров орбиты при выведении спутников;
- 4) наконец, есть возможность удалить малый КА с орбиты после завершения активного существования, чтобы не увеличивать количество космического мусора на орбитах [5,6].

В очередной раз обоснована необходимость энергетического обеспечения малых КА без химического топлива.

Идея работы появилась во время изучения недостатка вытянутых орбитальных конструкций – качательного движения. Такое движение обладает механической энергией. Значит, надо практически использовать этот вид энергии, в том числе совместно с другими видами энергии. В этом заключается основная идея работы с оценочными расчётами положительного эффекта.

Анализ литературы

В работах Осипова В.Г., Шошунова Н.Л. исследуется процесс развёртывания тросовых космических систем [7]. С помощью таких систем предлагается проводить не только орбитальные эксперименты, но и атмосферные, посредством тросового атмосферного зонда [8]. Более того, при качательном движении тросовой системы предлагается оборвать трос по время минимальной скорости нижнего груза, чтобы тот вернулся на Землю. Таким образом, была обоснована возможность возвращения КА с орбиты на Землю без использования химического топлива.

В работах Екимовской А.А. изучалось маневрирование на орбитах с помощью тросовых вращающихся космических систем [1,2]. Если трос оборвать в момент, когда вращательная скорость одного груза совпадает с направлением движения центра масс, то будет получена дополнительная скорость для увеличения высоты. Если трос оборвать в момент, когда вращательная скорость одного груза противоположна направлению движения центра масс, то будет получена дополнительная скорость для снижения КА, например, для входа в атмосферу и возвращения на Землю.

Основным методическим материалом для выполнения баллистических расчётов стала книга одного из основоположников механики орбитального движения доктора технических наук, профессора Брыкова Анатолия Викторовича [9]. В этой книге есть примеры расчёта движения тросовых систем. Например, приводится пример для расчёта длины троса, необходимой для возвращения КА на Землю после обрыва связки.

Таким образом, в настоящее время уровень техники является достаточным, чтобы от пассивной гравитационной стабилизации [10] перейти к практическому применению тросовых систем для орбитального маневрирования. Это предмет исследования в предлагаемой работе. Предлагается оценить эффект для маневрирования в зависимости от длины троса в связке двух космических аппаратов.

Первые результаты исследования – гравитационная стабилизация

Основной литературой для изучения тросовых систем стали работы Осипова В.Г. и Шошунова Н.Л. Из РКК «Энергия» им. С.П.Королёва. Дата работ относится к концу 90-х годов, но исследования в этом направлении проводились в середине 20-го века, когда Советский Союз был лидером в этом направлении. В работах этих авторов есть несколько патентов по развёртыванию и управлению движением тросовой системы (рис.1).

История проблемы и анализ литературы

РКК «Энергия» им. С.П.Королёва,
Город Королёв,
Московская область

Космонавтика

Космические тросовые системы: история и перспективы

В.Г. ОСИПОВ,
Н.Л. ШОШУНОВ,
Ракетно-космическая корпорация "Энергия"
им. С.П. Королёва



Космические тросовые системы — это пока мало известная область космической техники, где наша страна до середины 60-х гг. имела приоритетные позиции. Но затем в течение 30 лет ведущую роль в этом направлении заняли США. Современная ситуация позволяет России вновь получить первенство в данной области космонавтики. Специалисты известной отечественной фирмы предлагают выполнить несколько этапов практического использования тросовых технологий на будущих космических станциях.



(19) RU (11) 2 112 714 (13) C1
(51) МПК⁸ B 64 G 1/24

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 96120389/28, 03.10.1996
(46) Опубликовано: 10.06.1998

(71) Заявитель(и):
Ракетно-космическая корпорация "Энергия"
им. С.П. Королёва

(72) Автор(ы):
Осипов В.Г.,
Шошунов Н.Л.,
Кочергин В.И.

(73) Патентобладатель(и):
Ракетно-космическая корпорация "Энергия"
им. С.П. Королёва

(54) СПОСОБ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ОРБИТАЛЬНОЙ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ

(57) Реферат:
Изобретение относится к космической технике и касается процесса развёртывания на орбите тросовой системы в виде связи двух объектов обеспечения простоты реализации процесса, в начале которого два соединённых тросом объекта расходятся, а затем, хотя бы одному из них сообщают скорость расхождения вдоль местной вертикали, после чего выпускают трос, регулируя

силу его натяжения по закону $N = A \cdot \omega^2 / (1 - B \cdot L / L_0)$, где N_0 - заданная сила натяжения троса, V - скорость выпуска троса, L - текущая длина выпущенной части троса, L_0 - заданная конечная длина троса, A и B - постоянные положительные величины, причем B меньше единицы. Выпуск троса прекращают в момент, когда его длина станет равной заданной конечной. 1 табл., 1 ил.

RU 2 112 714 C1

Рис. 1. История работы по орбитальным тросовым системам

Выполненная работа является продолжением предыдущих исследований космических аппаратов вытянутой формы. Но теперь отличием является не гравитационная стабилизация, а орбитальное маневрирование с применением этого явления. Если космический аппарат имеет вытянутую форму, то он повернётся в центральном поле тяжести вдоль силы притяжения. Это хорошо видно на гантели. Ближняя к Земле часть гантели испытывает более сильное притяжение, чем другая, удалённая часть. Значит, при поперечном положении даже небольшое отклонение от горизонтального положения вызовет крутящий момент от сил гравитации. Космический аппарат повернётся так, что самая тяжёлая часть будет внизу, лёгкая наверху, продольная ось направлена к центру

Земли. Это устойчивое положение по Ляпунову, потому что при отклонении от него возникнет, наоборот, возвращающий момент сил тяжести. При движении по орбите КА вращается вокруг центра тяжести. Значит, он располагается вдоль силы тяготения и поперёк оси вращения. Но дополнительно он будет качаться, как маятник. Предлагаю изучить это явление в дополнение к выполненным ранее исследованиям по гравитационной стабилизации [4].

При анализе литературы важной является классическая задача из книги основоположника теории космических полётов Анатолия Викторовича Брыкова [9]. Нижний груз в тросовой связке можно вернуть на Землю после разрыва троса из-за го уменьшенной скорости. Было повторено решение школьными методами, получил длину троса 88 км для тормозного импульса 100 м/с при высоте орбиты 400 км. В книге А.В.Брыкова вычислен оптимальная длина троса 60-230 км для разных орбит. Полученный результат совпал с классическим. Результаты расчётов показаны на рис.2.



Рис. 2. Результаты расчёта длины троса для возвращения КА на Землю

Оценочный расчёт длины троса для возвращения КА на Землю

Задача из книги А.В.Брыкова была решена школьными методами. Расчёты выполнены в соответствии с обозначениями, показанными на рис.2.

При движении тросовой связки по орбите центростремительное ускорение и сила гравитации связаны вторым законом Ньютона $ma = F_{gr}$.

Учитываем, что центр масс расположен на высоте h над поверхностью Земли, применяем формулу для расчёта центростремительного ускорения для левой части уравнения, а в правой части пользуемся законом Всемирного тяготения $\frac{mV_c^2}{R_3 + h} = G \frac{mM_3}{(R_3 + h)^2}$.

Из полученной формулы выражаем скорость движения центра масс тросовой связки $V_c = \sqrt{\frac{GM_3}{R_3 + h}}$. Это круговая скорость, то есть первая космическая.

В баллистической литературе обычно вместо постоянной тяготения и массы Земли применяют их произведение, которое называется гравитационным параметром Земли $\mu_3 = GM_3 = 3,986004418 \cdot 10^{14} \left(\frac{m^3}{s^2} \right)$. Для каждой планеты гравитационный параметр имеет своё значение, но в этой работе межпланетные перелёты не изучаются, поэтому важен только гравитационный параметр Земли. Отличие от принятой классической литературы заключается в применении Международной системы измерения единиц физических величин (СИ), в этом случае применяются метры, а не километры, как в баллистической литературе [9].

С учётом гравитационного параметра Земли первая космическая скорость записывается более простой формулой $V_c = \sqrt{\frac{\mu_3}{R_3 + h}}$. В общем виде для неё в справочном материале книги А.В.Брыкова [9] приводится формула $V_1 = \sqrt{\frac{\mu_3}{r}}$.

При оценочном расчёте была предположена высота орбиты, то есть высота центра масс тросовой системы над поверхностью Земли, 400 км, как у Международной орбитальной станции. Это практически значимая высота орбиты.

Были сформированы исходные данные для расчёта: $R_3 = 6371210 (m)$; $h = 400000 (m)$; $r = R_3 + h = 6771210 (m)$.

Полученные числовые данные подставлены в рабочую формулу:

$$V_c = \sqrt{\frac{3,986004418 \cdot 10^{14}}{6771210}} = 7672,5 \left(\frac{m}{s} \right).$$

Для безопасного возвращения КА с орбиты высотой до 400 км над поверхностью Земли требуется тормозной импульс приблизительно 100 м/с, то есть изменение скорости КА должно быть отрицательным $\Delta V_H = -100 \left(\frac{m}{s} \right)$.

Это означает, что скорость нижнего груза в тросовой связке должна быть меньше приблизительно на такую величину, то есть $V_H = V_c - \Delta V_H = 7572,5 \left(\frac{m}{s} \right)$.

Ещё одно предположение, не очень далёкое от действительности, заключается в представлении движения тросовой связки двух грузок в виде модели абсолютно твёрдого тела. Это означает, что трос всегда натянут, не провисает, ориентирован по местной вертикали. Тогда угловые скорости вращения всех точек системы одинаковы, в том числе центра масс и нижнего груза, то есть $\omega_c = \omega_H$.

Воспользуемся формулой взаимосвязи между угловой и линейной скоростями, но только с учётом полудлины троса $\frac{V_c}{R_3 + h} = \frac{V_H}{R_3 + h - L}$. Появилась задача определения полудлины троса. Чему равна полудлина троса $L = ?$

Подставляем полученные ранее численные значения и отвечаем на вопрос задачи: $\frac{7672,5}{6771210} = \frac{7572,5}{6771210 - L}$; $L = 88253 (m)$.

Для проверки правильности расчётов была вычислена скорость верхнего груза по принятой модели абсолютно твёрдого тела: $\omega_C = \omega_B$.

Из равенства угловых скоростей вращения при движении вокруг Земли центра масс и верхней точки получено уравнение $\frac{V_C}{R_3 + h} = \frac{V_B}{R_3 + h + L}$.

В найденное уравнение подставлены числовые значения $\frac{7672,5}{6771210} = \frac{V_B}{6771210 + 88253}$.

В результате определена скорость верхней точки $V_B = 7772,6 \left(\frac{m}{s} \right)$.

Верхняя точка, наоборот, по сравнению с нижней, получает положительное приращение скорости: $\Delta V_B = V_B - V_C = 7772,6 - 7672,5 = 100,1 \left(\frac{m}{s} \right)$.

Равенство величин модулей приращений скоростей доказывает правильность решения задачи по гипотезе абсолютно твёрдого тела, так как тросовая система предположена симметричной.

Главный вывод в том, что полудлина троса получилась 88 км. В книге А.В.Брыкова значится приблизительно такая же величина 59 км, но там один груз предполагается тяжёлым, а второй лёгким, также учитываются особенности центрального гравитационного поля Земли.

Использование эффекта качательного движения

В работе продолжается обсуждение практического применения свойств центрального гравитационного поля Земли для управления движением космических аппаратов (КА). Доказанной является возможность гравитационной стабилизации КА вытянутой формы [1,2]. Вытянутую форму конструкции осуществить сложно. Но если перейти к тросовым системам, то длина орбитальных связок может достигать десятков километров. Технически это осуществимо с помощью современных лёгких и прочных материалов, например, на основе углеволокна. Цель работы заключается в выявлении скрытых возможностей перспективных орбитальных тросовых систем для их

маневрирования в космосе. В классических тросовых системах используется свойство движения центра масс по орбите с круговой скоростью, но при этом связанные тросом КА имеют скорости, отличные от круговой [3]. В левой части рисунка показано отличие скоростей КА, связанных тросом от круговой скорости, то есть первой космической скорости для заданной высоты орбиты. С круговой скоростью $V_{кр} = \sqrt{\frac{\mu}{r}}$ движется центр масс связки из двух одинаковых КА. В этой формуле $\mu = 398600 \text{ (км}^3/\text{с}^2\text{)}$ - гравитационный параметр Земли, r – удаление от центра Земли (км). В баллистике расчёты принято выполнять в километрах. Для этой связки на рис.3 показана эпюра распределения скоростей, которая доказывает, что нижний КА на тросе движется медленнее, а верхний – быстрее.

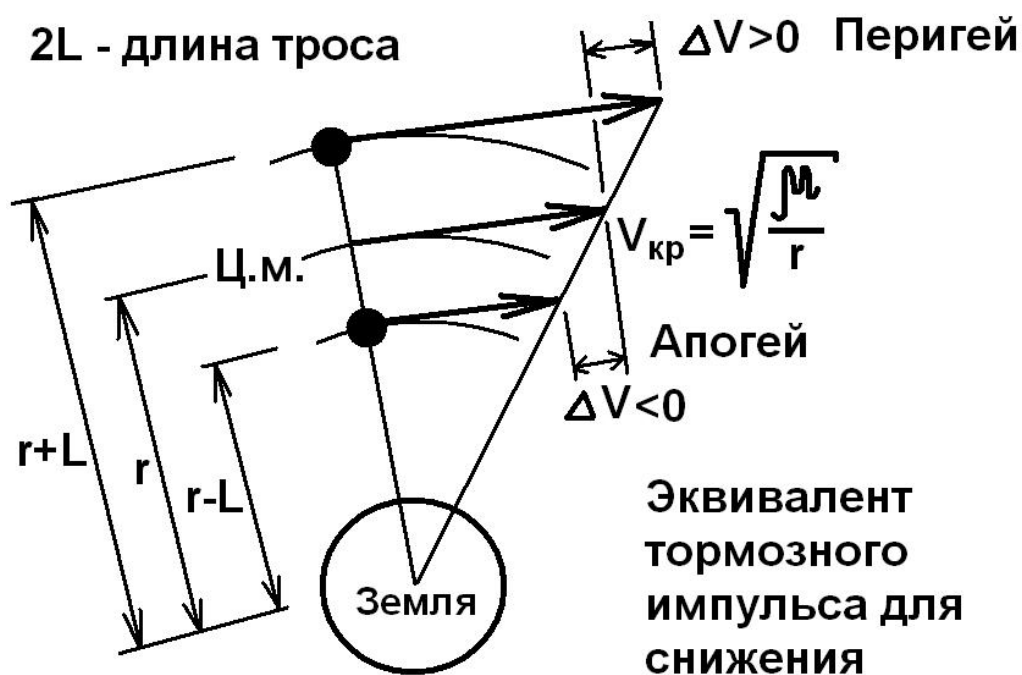
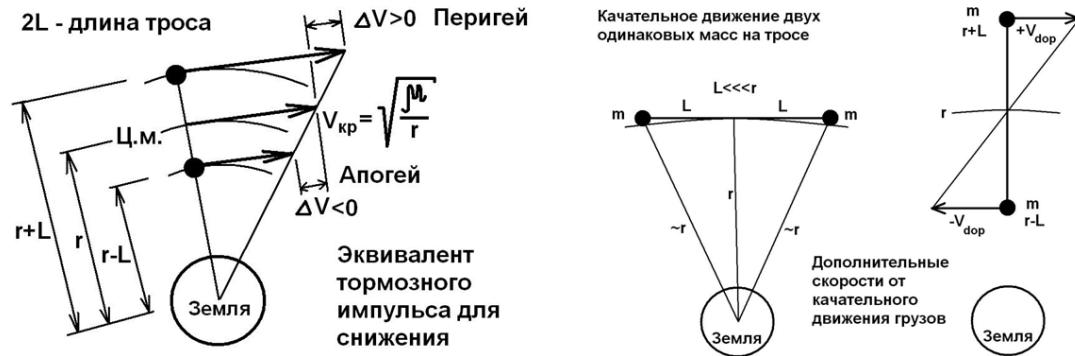


Рис. 3. Эпюра скоростей тросовой системы

Если бы троса не было, то наблюдалась бы обратная ситуация. Значит, тросовая система в принципе изменяет представление об управлении движением КА. Например, если трос разорвать, то это будет равносильно тормозному импульсу для нижнего КА в точке апогея, а верхний КА получит

разгонный импульс в точке перигея [3]. Никакого химического топлива для такого орбитального манёвра не требуется.



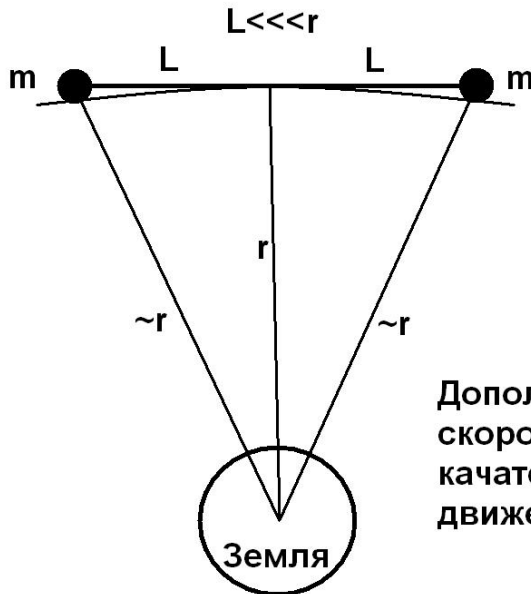
По сути для орбитального маневрирования используется энергия относительного вращения тросовой системы при движении её центра масс по заданной орбите. Более того, оказывается, можно специально закрутить тросовую систему, чтобы увеличить запас вращательной энергии для последующего орбитального маневрирования [1,2]. Недостатком работ по тросовым вращающимся системам является обязательное требование предварительной раскрутки конструкции, что вызывает технические трудности.

Предлагается использовать для орбитального маневрирования энергию качательного движения, связанного с гравитационной стабилизацией вытянутых КА. Подобные исследования выполнялись в РКК «Энергия» им. С.П.Королёва, в том числе для возвращения КА с орбиты на Землю [3,7,8]. Цель работы заключается в совместном использовании качательного движения КА на орбите и его гравитационной стабилизации, то есть медленного вращения с постоянной ориентацией троса по местной вертикали. Правая часть рисунка иллюстрирует эффект от такого предложения, который надо рассчитать количественно.

Пусть в начальный момент времени тросовая система ориентирована горизонтально, как показано на рис.4 слева. Так как длина троса намного

меньше удаления от центра Земли, то общая удельная (Дж/кг) потенциальная энергия системы равна $E_{n1} = \frac{-2\mu}{r}$.

Качательное движение двух одинаковых масс на тросе



Дополнительные скорости от качательного движения грузов

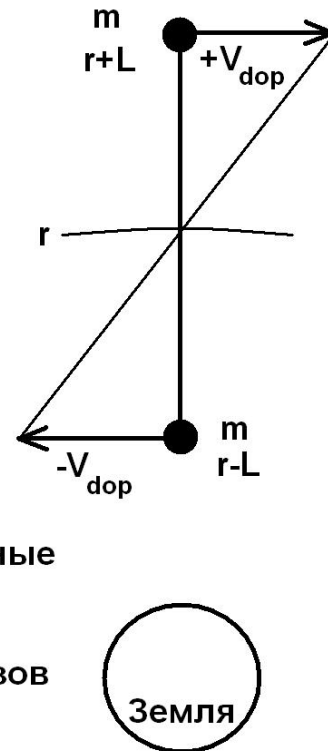


Рис. 4. Закон сохранения энергии в центральном поле тяготения

Доказано, что такое положение тросовой системы не будет устойчивым, она повернётся по местной вертикали, как показано справа на рисунке [1,2]. После поворота изменится удельная потенциальная энергия, она станет равна

$$E_{n2} = \frac{-\mu}{r-L} + \frac{-\mu}{r+L}.$$

Определяем изменение удельной потенциальной энергии системы, из конечной величины вычитаем начальную:

$$\Delta E_n = E_{n2} - E_{n1} = \frac{-\mu}{r-L} + \frac{-\mu}{r+L} - \left(\frac{-2\mu}{r} \right) = \frac{-4\mu L^2}{r(r^2 - L^2)}.$$

Удельная потенциальная энергия уменьшилась, значит, удельная кинетическая энергия увеличится. Определяем скорость двух КА при

вертикальной связке $-\Delta E_n = E_K$; $\frac{4\mu L^2}{r(r^2 - L^2)} = 2 \cdot \frac{V_{dop}^2}{2}$; $V_{dop} = \sqrt{\frac{4\mu L^2}{r(r^2 - L^2)}}.$

Для стандартной опорной орбиты высотой 200 км и упомянутой [3] полудлине троса 50 км дополнительная от качательного движения скорость равна 29,6 м/с. Значение высоты орбиты уменьшено с 400 км до 200 км, так как опорная орбита является основной для последующих манёвров КА. При полудлине троса 100 км она равна 59,3 м/с. Такие значения скорости существенны для орбитальных манёвров. Достаточно отметить, что для возвращения космонавтов на Землю требуется торможение приблизительно 100 м/с.

Таким образом, доказано, что тросовая система на низких орбитах является альтернативой химическому топливу.

Выводы

- 1. Обоснована величина положительного эффекта импульса для орбитального маневрирования 20-50 м/с от качательного движения.**
- 2. Эффект существенный, если учесть торможение 100 м/с для безопасного возвращения КА на Землю.**
- 3. Трудность заключается в системе управления, качание должно происходить в плоскости движения КА, в направлении движения и против.**

Список литературы

1. Екимовская А.А., Дроботов В.Б. Проектно-баллистический анализ манёвра вращающейся тросовой космической системы / 21-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 21-25 ноября 2022 года. Москва. Тезисы. – М.: Изд-во «Перо», 2022 – 617 с. - С.326-327. - <https://elibrary.ru/item.asp?id=50102165>
2. Екимовская А.А. Вращающиеся системы – новый вид космических аппаратов / Молодёжь и будущее авиации и космонавтики. Сборник аннотаций конкурсных работ XIV Всероссийский межотраслевой молодёжный конкурс научно-технических работ и проектов 21-25 ноября 2022 г. Москва, 2022. С. 112-113. - <https://elibrary.ru/item.asp?id=49907701>
3. Осипов В.Г., Шошунов Н.Л. Космические тросовые системы: история и перспективы / Земля и Вселенная. Космонавтика. – Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П.Королева. - №4, 1998.
4. Голубев А.М. Космический аппарат изменяемой формы для гравитационной стабилизации / Материалы VI Всероссийской конференции «Умный мир руками детей 2023». Троицк-Москва, 28-29 июня 2023 г. – БАЙТИК, 2023. – С.29-33.
5. Иванов В.Л., Меньшиков В.А., Пчелинцев Л.А., Лебедев В.В. Космический мусор. В 3-х томах. Том.1. - М.: Патриот, 1996. - 360 с.
6. Меньшиков В.А., Перминов А.Н., Урлич Ю.М. Глобальные проблемы человечества и космос. – М.: «Изд.МАКД», 2010. – 570 с.
7. Осипов В.Г. , Шошунов Н.Л. , Кочергин В.И. Способ развёртывания орбитальной тросовой системы. Патент на изобретение RU 2112714 С1, МКИ В64G 1/24 (2006.01), приоритет 03.10.1996, публ. 06.10.1998. Патентообладатель Ракетно-космическая корпорация "Энергия" им.С.П.Королева.
8. Беляев М.Ю., Осипов В.Г., Сурин Д.М., Цветков В.В., Шошунов Н.Л. Экспериментальная тросовая система с атмосферным зондом / Научные чтения

памяти К.Э.Циолковского. Секция : Проблемы ракетной и космической техники. – Калуга, 2006.

9. Авдеев Ю.Ф., Беляков А.И., Брыков А.В и др. Полёт космических аппаратов: Примеры и задачи: Справочник / Под общ. ред. Г.С.Титова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.: ил. – ISBN 5-217-01065-7.

10. Сударь Ю.М., Щербаков В.И., Юлина А.О. Пассивная гравитационная стабилизация космического аппарата на геостационарной орбите / Труды Военно-космической Академии им. А.Ф.Можайского. - №672. – 2020. – С.326-335.

Приложение.

Проверка в системе «Антиплагиат» с уникальностью 95%

Антиплагиат бесплатно без регистрации. Проверить уникальность текста онлайн

Уникальность 95%

Отлично. Текст уникальный.

Секция: Физика

Научный руководитель

учитель физики высшей квалификационной категории

МБОУ СОШ №12, город Королёв, Московская область

Егорова Светлана Сергеевна

(ученая степень, звание, должность) _____ Егорова С.С.

(подпись) (расшифровка подписи)

Количество баллов,

полученных на защите _____

(заполняется председателем жюри)

Председатель жюри _____

(подпись) (расшифровка подписи)

Работу выполнил

**Уникальность 95%.
Проверил д.т.н.
Лебедев Владимир
Валентинович
12 января 2025 г.
Тел. 89031844531**

Символов всего: 8958 Без пробелов: 7706 Слов: 1042 Язык орфографии: Русский ☒ PRO версия: ☐ ?

✓ УНИКАЛЬНОСТЬ

AB ОРФОГРАФИЯ

✎ СИНОНИМАЙЗЕР

✎ ОЧИСТИТЬ

📄 ПЕРЕФРАЗ

Источники

Все совпадения

- <https://abitv.net/start2015/conference/v...> (4%)
- <https://chem-online.mipt.ru/start2015/co...> (4%)
- <https://conf.mipt.ru/start2015/conferenc...> (4%)
- <https://nsportal.ru/shkola/obshchepedago...> (1%)

Межрегиональная олимпиада школьников
«Будущие исследователи – будущее науки»

Финальный тур

Шифр

ФВ-3

Предмет физика

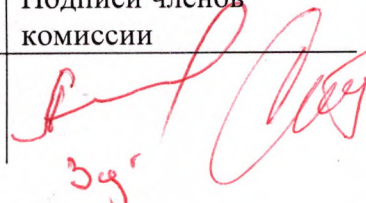
ФИО участника (полностью) Гонимов Алексей
Михайлович

Дата рождения (дд.мм.гггг) 08.08.2008

Город Королёв Область Московская

Образовательное учреждение МБОУ СОШ №12

Класс 10

Задача №1	Задача №2	Задача №3	Задача №4	Задача №5	Итоговый балл	Подписи членов комиссии
25	25	5	15	-	70	

Задача №1.

Дано:

$$t_1 = 60^\circ\text{C}$$

$$t_0 = 20^\circ\text{C}$$

① + ②

$$t_3 = t_k = 50^\circ\text{C}$$

$$t_2 = ?$$

свин

Решение:

Термостат:

① шарик

$$Q_{\text{в}} + Q_{\text{ш}} = 0;$$

$$t_1 = 60^\circ\text{C} \quad \text{вода}$$

$$t_3 = t_k = 50^\circ\text{C}$$

$$t_0 = 20^\circ\text{C} \quad \text{шарик}$$

$$c_{\text{в}} \cdot m_{\text{в}} (t_3 - t_1) + 3 \cdot c_{\text{ш}} \cdot m_{\text{ш}} (t_3 - t_0) = 0;$$

Пусть:

$$\begin{cases} a = c_{\text{в}} \cdot m_{\text{в}}; \\ b = c_{\text{ш}} \cdot m_{\text{ш}}; \end{cases}$$

$$a(t_3 - t_1) + 3b(t_3 - t_0) = 0$$

$$\begin{cases} a = \frac{-3b(t_3 - t_0)}{t_3 - t_1} = \frac{3b(t_0 - t_3)}{t_3 - t_1} \end{cases}$$

② шарик:

$$t_1 = 60^\circ\text{C} \quad \text{вода}$$

$$t_2 = ?$$

$$t_0 = 20^\circ\text{C} \quad \text{шарик}$$

$$c_{\text{в}} \cdot m_{\text{в}} (t_2 - t_1) + c_{\text{ш}} \cdot m_{\text{ш}} (t_2 - t_0) = 0$$

$$a(t_2 - t_1) + b(t_2 - t_0) = 0$$

$$at_2 - at_1 + bt_2 - bt_0 = 0$$

$$t_2 = \frac{at_1 + bt_0}{a + b}$$

Стр. 1

③ Система:

$$\begin{cases} t_2 = \frac{a \cdot t_1 + b \cdot t_0}{a + b} \\ a = \frac{3b(t_0 - t_3)}{t_3 - t_1} \end{cases}$$

$$t_2 = \frac{\frac{3b \cdot t_1(t_0 - t_3)}{t_3 - t_1} + b \cdot t_0}{\frac{3b(t_0 - t_3)}{t_3 - t_1} + b} = \frac{\frac{3t_1(t_0 - t_3)}{t_3 - t_1} + t_0}{\frac{3(t_0 - t_3)}{t_3 - t_1} + 1}$$

Вычисляем:

$$t_2 = \frac{\frac{-3 \cdot 60 \cdot 30}{-10} + 20}{\frac{-3 \cdot 30}{-10} + 1} = \frac{60 \cdot 9 + 20}{10} = 56^\circ$$

Ответ: $t_2 = \frac{\frac{3t_1(t_0 - t_3)}{t_3 - t_1} + t_0}{\frac{3(t_0 - t_3)}{t_3 - t_1} + 1} = 56^\circ$ (25)

Задача №2.

До: Состояние;

Дано:

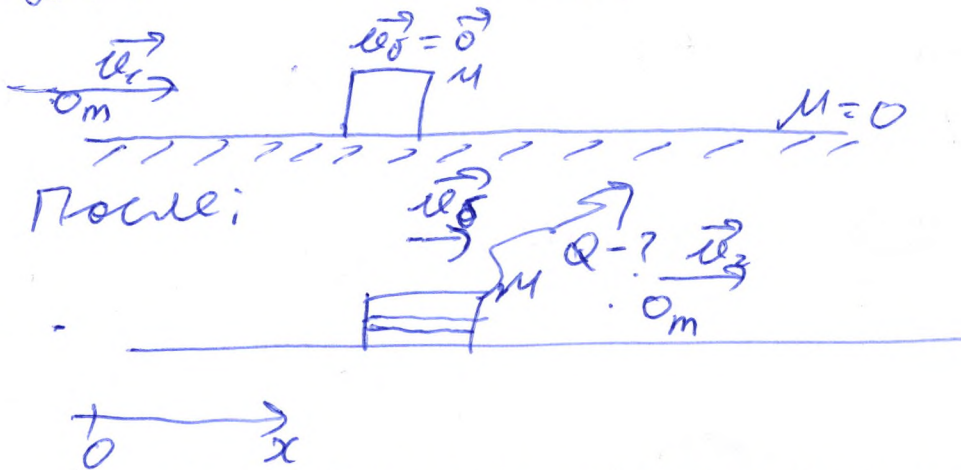
$M = 0;$

$M; m;$

$v_1; v_2;$

$Q = ?$

После:



Закон сохранения импульса.

$$\vec{P}_{до} - \vec{P}_{после} = \vec{F}_{внеш} \cdot \Delta t; \quad \vec{F}_{внеш} = \vec{0}$$

$$P_{до} = P_{после};$$

т.е. $m v_1 = m v_2 + M v_5;$

$$v_5 = \frac{m(v_1 - v_2)}{M}$$

Закон сохранения энергии.

$$E_{до} = E_{после};$$

$$\frac{m v_1^2}{2} = \frac{m v_2^2}{2} + \frac{M v_5^2}{2} + Q; \quad | \cdot 2$$

$$m v_1^2 = m v_2^2 + M v_5^2 + 2Q;$$

$$m v_1^2 = m v_2^2 + \frac{M \cdot m^2 (v_1 - v_2)^2}{M^2} + 2Q; \quad | \cdot M$$

$$M \cdot m \cdot v_1^2 - M m v_2^2 - m^2 (v_1 - v_2)^2 = 2 Q M;$$

$$Q = \frac{M \cdot m (v_1^2 - v_2^2) - m^2 (v_1 - v_2)^2}{2 M} \quad (25)$$

Ответ: $Q = \frac{M \cdot m (v_1^2 - v_2^2) - m^2 (v_1 - v_2)^2}{2 \cdot M};$

Задача №4
Решение:

Дано:

$$M = 0,06 \text{ м}$$

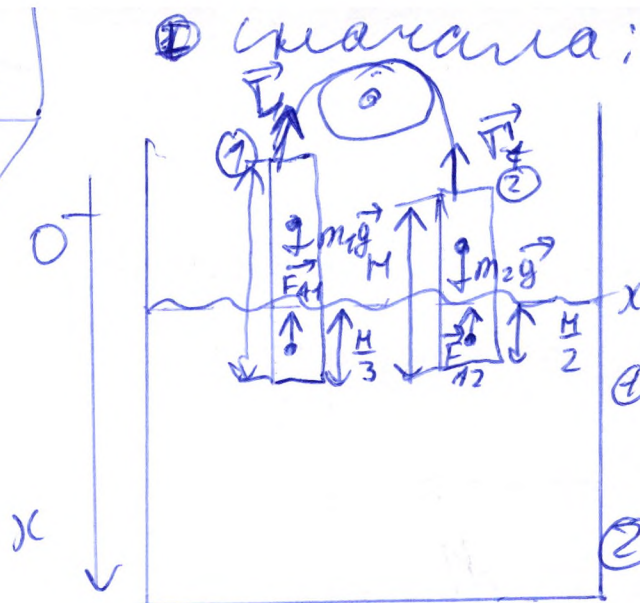
$$\frac{M}{h_{1п}} = 3$$

$$\frac{M}{h_{2п}} = 2$$

$$d = 5 \text{ cm};$$

$$x_1 = ?$$

$$x_2 = ?$$



$$|\vec{T}| = |\vec{T}'|$$

нужно уравнение

$$\sum \vec{F}_i = \vec{0}$$

$$\textcircled{1} m_1 g + \vec{F}_{A1} + \vec{T} = \vec{0}$$

$$m_1 g - F_{A1} - T = 0;$$

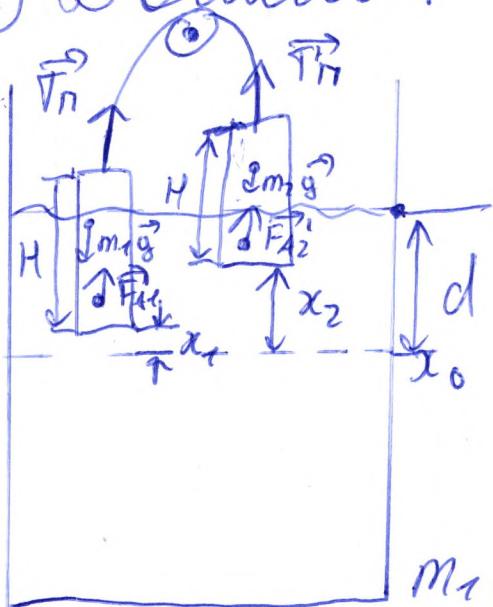
$$\textcircled{2} m_2 g - F_{A2} - T = 0;$$

$$m_1 g - F_{A1} = m_2 g - F_{A2};$$

$$\rho_1 \cdot V \cdot g - \rho_0 \frac{V}{3} g = \rho_2 V g - \rho_0 \frac{V}{2} g$$

$$\boxed{\rho_1 - \frac{\rho_0}{3} = \rho_2 - \frac{\rho_0}{2}}$$

② Система:



$$|\vec{T}_n| = |\vec{T}_n'|$$

нужно уравнение

$$m_1 g - F_{A1}' - T_n = 0;$$

$$m_2 g - F_{A2}' - T_n = 0;$$

$$F_{A1}' = \rho_0 \cdot (d - x_1) S g;$$

$$F_{A2}' = \rho_0 (d - x_2) S g;$$

$$m_1 g - \rho_0 (d - x_1) S g = m_2 g - \rho_0 (d - x_2) S g;$$

$$\rho_1 \cdot H \cdot S g - \rho_0 (d - x_1) S g = \rho_2 H S g - \rho_0 (d - x_2) S g$$

$$\rho_1 H - \rho_0 d + \rho_0 x_1 = \rho_2 H - \rho_0 d + \rho_0 x_2;$$

$$(\rho_1 H + \rho_0 x_1 = \rho_2 H + \rho_0 x_2);$$

③ Система:

$$\left\{ \rho_1 - \rho_2 = -\frac{\rho_0}{6}; \right.$$

$$\left\{ H(\rho_1 - \rho_2) = \rho_0 (x_2 - x_1); \right.$$

$$-\frac{N \cdot p \cdot v}{6} = p \cdot v (x_2 - x_1);$$

$$x_2 - x_1 = -\frac{N}{6}$$

$$\boxed{x_1 - x_2 = \frac{N}{6}}$$

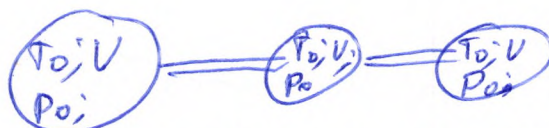
(15)

Ответ: изменение положения
блоков равно $x_1 - x_2 = \frac{N}{6}$, где
 x_1 - отклонение первого от начального поло-
жения, а x_2 - отклонение второго.
Они различаются на $\frac{N}{6}$ (положения блоков)

Задача №3.

Решение:

① Сначала.



Уравнение Менделеева-Клапейрона

$$P_0 V = \nu R T_0;$$

$$P_0 = \frac{\nu R T_0}{V};$$

② Нагреём.



Дано:

$$V_1 = V_2 = V_3 = V$$

$$T_0 = 40 \text{ K}$$

нет теплообмена.

He

$$\nu = 3$$

$$T_1 = 100 \text{ K}$$

$$T_2 = 160 \text{ K}$$

$$T_3 = 200 \text{ K}$$

$$\frac{P_K}{P_0} = ?$$

Произошло три изохорических изопроцесса. По закону Шарля:

$$V = \text{const}$$

$$\frac{P_0}{T_0} = \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3};$$

$P_K = P_1 + P_3 + P_2$ — конечное давление является суммой давлений газов каждого сосуда, т. к. нет теплообмена.

$$P_K = \frac{P_0 \cdot T_1}{T_0} + \frac{P_0 \cdot T_2}{T_0} + \frac{P_0 \cdot T_3}{T_0};$$

$$P_K = \frac{P_0 (T_1 + T_2 + T_3)}{T_0}$$

$$\boxed{\frac{P_K}{P_0} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{T_0}}$$

5

Ответ: $\frac{P_K}{P_0} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{T_0} = 11,5$