

**О ВОЗМОЖНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ
ЦИКЛИЧЕСКИ ПОВТОРЯЮЩИХСЯ
ГРАВИТАЦИОННЫХ МАНЕВРОВ НА
ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРОСОВЫХ
СИСТЕМ**

И.М. Сидоров

Январь 2002

Рассматривается динамика движения на околоземной орбите тросовой системы, которая называется пращей. Праща - это два блока со съемными контейнерами, связанные длинным тросом. Система вращается, относительно центра масс, в плоскости орбиты. На концевых блоках должны быть установлены электродвигатели, с помощью которых можно подтягивать или отпускать трос.

Рассмотрена принципиальная возможность решения следующих задач:

- 1. Прямое преобразование энергии, аккумулированной на борту космического объекта, а именно тросовой системы, в механическую энергию движения по орбите. Это позволяет изменять орбиту космического объекта, не используя реактивного способа движения. В качестве источника энергии предлагается использовать электрический аккумулятор или двигатель, с помощью которого получается электрическая энергия на борту космического аппарата. Эта же схема позволяет реализовать и обратный процесс, т.е. преобразование механической энергии движения объекта в электрическую энергию.**
- 2. Способ передачи механической энергии с одного космического объекта на другой.**
- 3. Возможность использования механической энергии движения естественных небесных тел, в частности Луны. При выполнении космическим объектом гравитационного маневра вблизи Луны механическая энергия объекта может увеличиться. Эту прибавку можно преобразовать в электрическую энергию на борту КА или использовать для изменения параметров орбиты КА.**

Этапы решения комплексной проблемы



Принципиальная схема управления угловой ориентацией КА с помощью тросовой системы

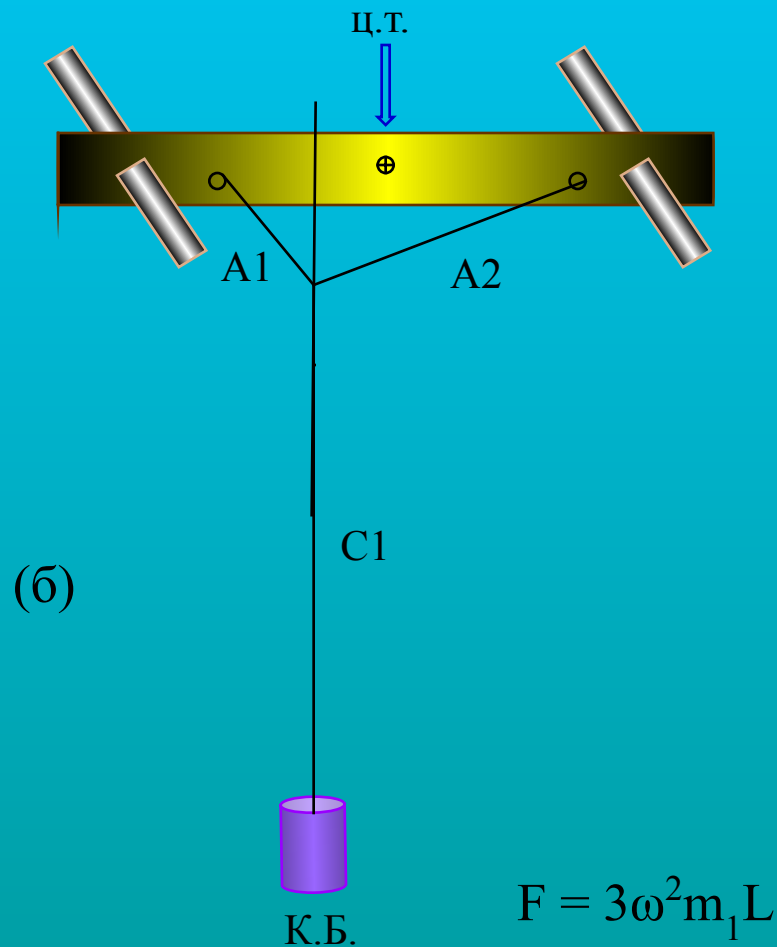
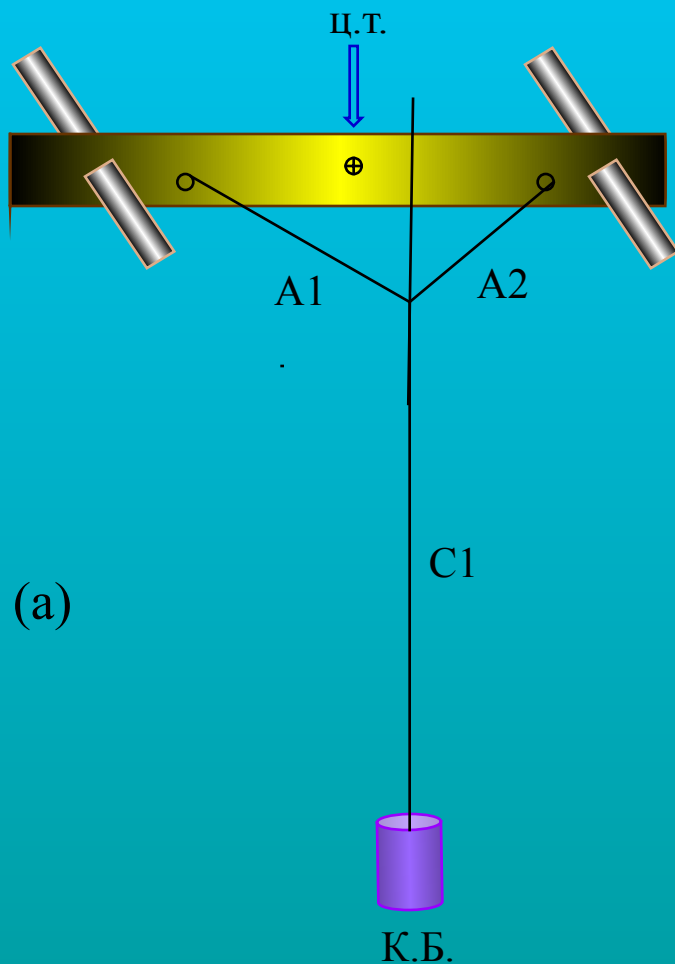
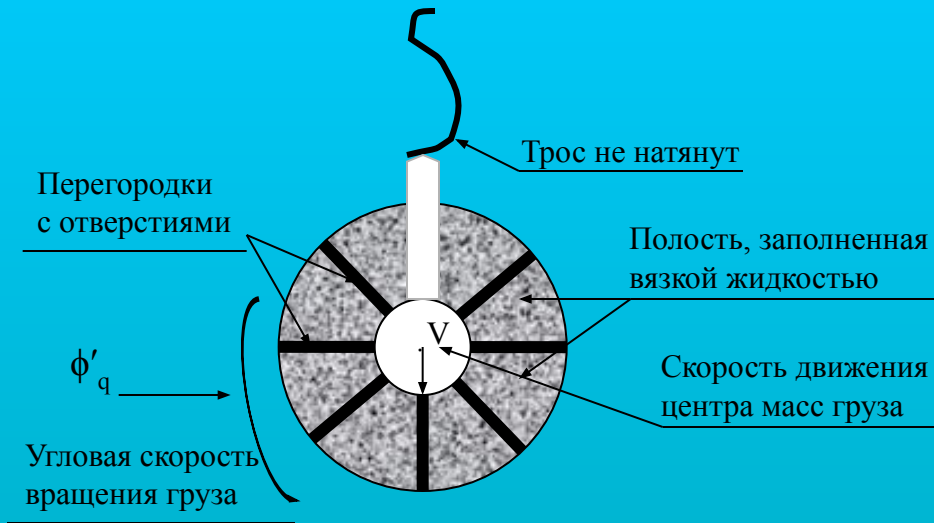
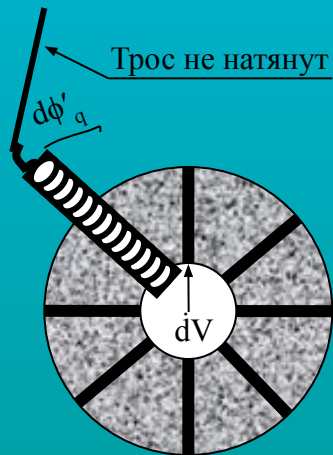


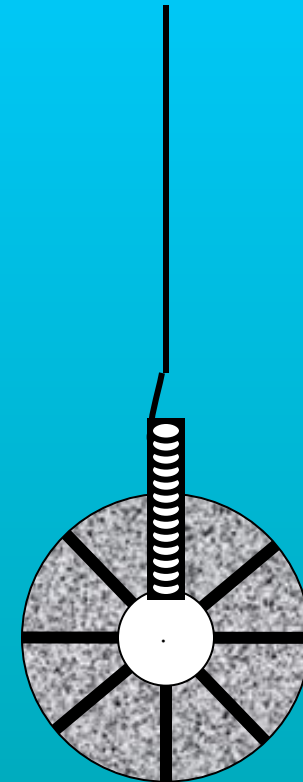
Схема развертывания троса



1. Груз в момент отталкивания от объекта

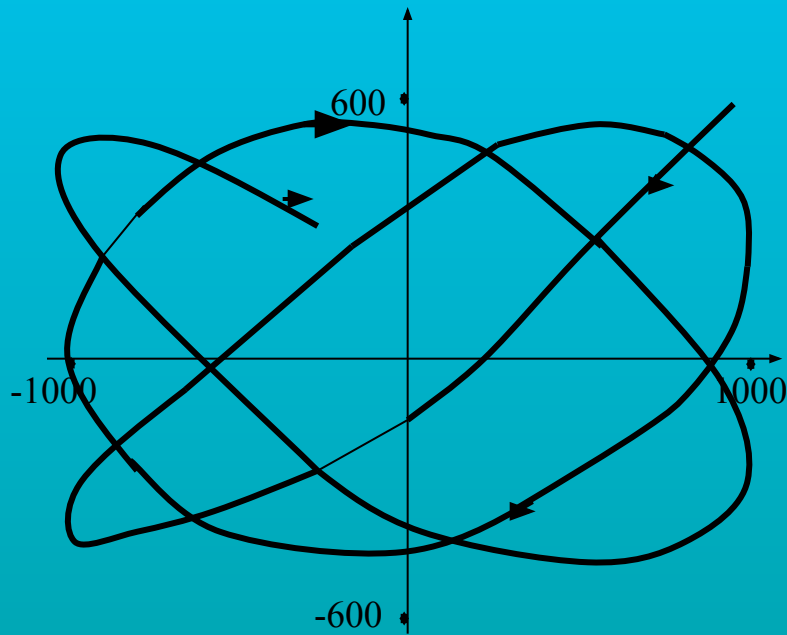


2. Схема груза в процессе натяжения троса

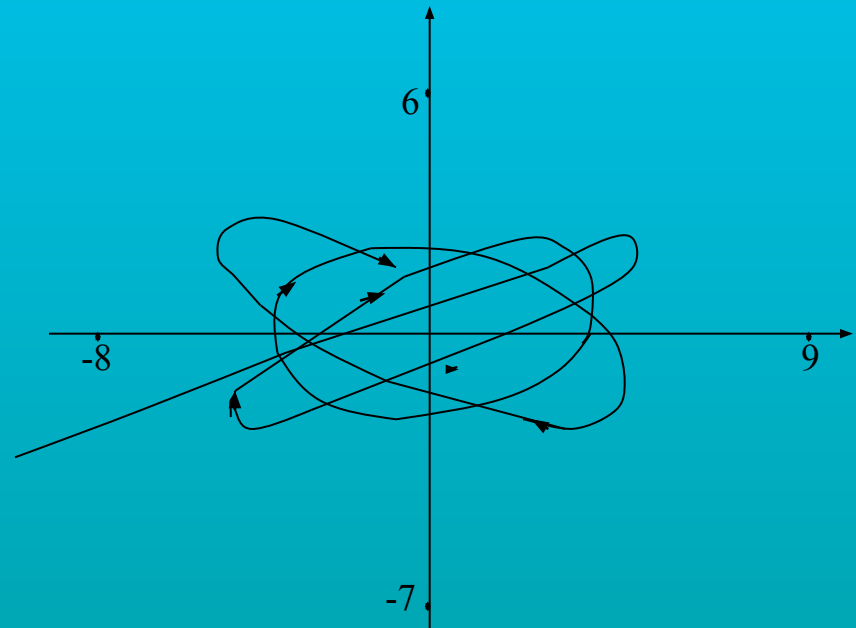


3. Установившееся положение груза после завершения развертывания троса

Перемещение груза и его точки подвеса



Траектория движения груза
в процессе колебания



Траектория перемещения точки
подвеса в процессе управления

Маятниковая система

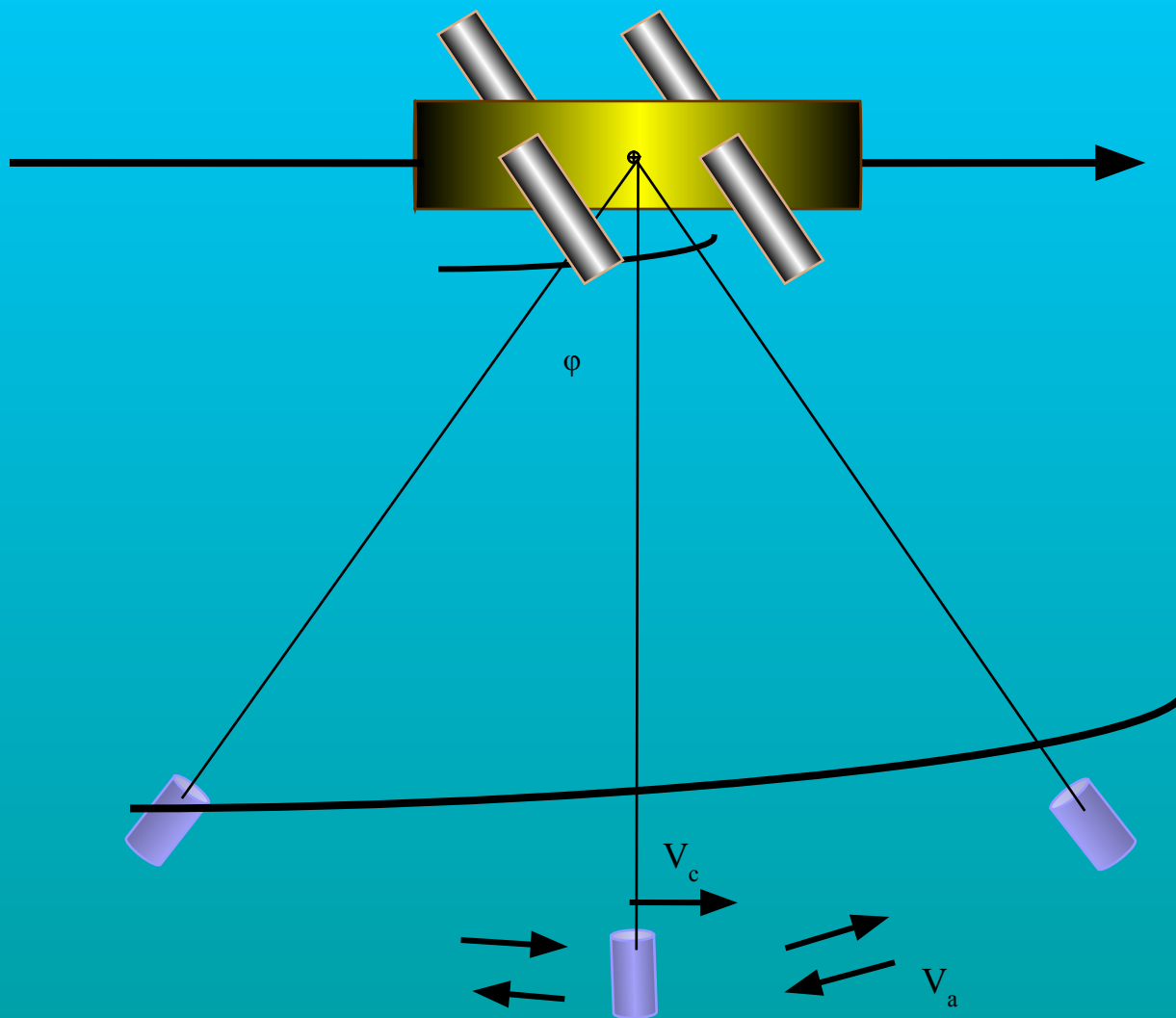


Схема движения пращи

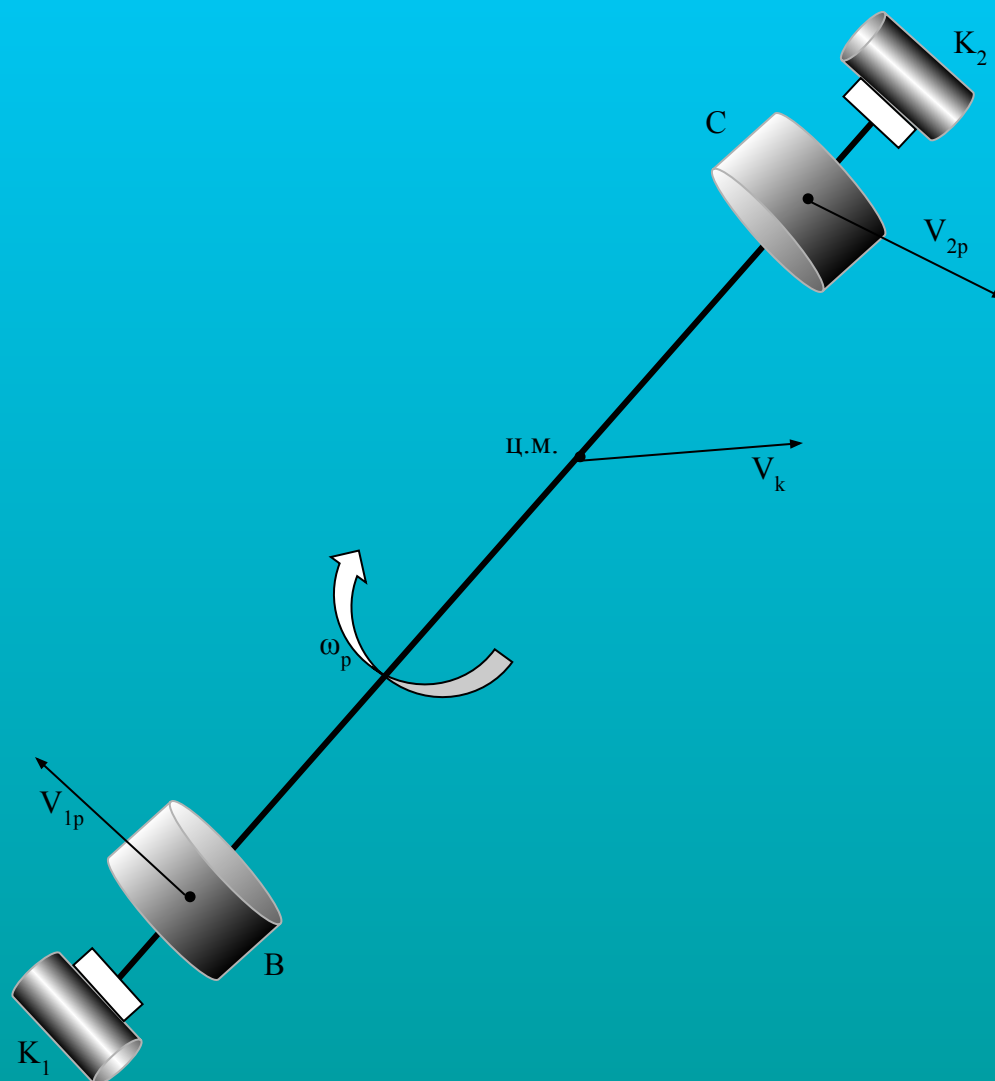
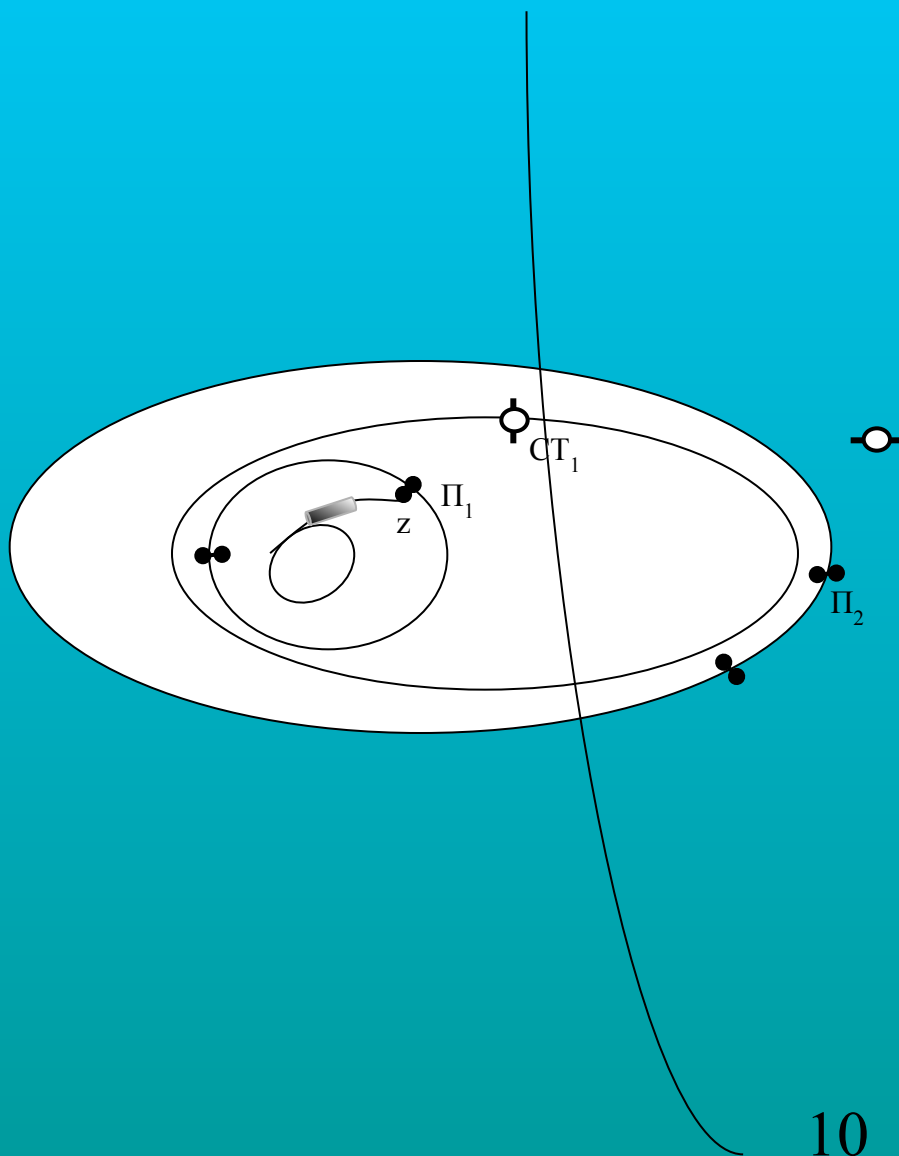


Схема вывода груза на геостационарную орбиту



Основные уравнения

Уравнения движения пращи

$$\begin{aligned} m_j x''_j &= -m_j \mu_1 x_j / R_j^3 + v_j F(dL) (x_2 - x_1) / L_u \\ m_j y''_j &= -m_j \mu_1 y_j / R_j^3 + v_j F(dL) (y_2 - y_1) / L_u \quad j = 1, 2 \end{aligned} \quad (1)$$

x_j, y_j - координаты двух тел; $v_j = 1$, если $j = 1$, $v_j = -1$, если $j = 2$;
 R - радиус Земли, $\mu_1 = 398606 \text{ км}^3/\text{с}^2$;
 m_j - масса концевых блоков;

$$R_j = \sqrt{x_j^2 + y_j^2} \quad L_u = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2};$$

Натяжение троса: $F(dL) = dL E_m S_h / L_0$;

E_m - модуль упругости материала троса; S_h - площадь сечения троса;
 dL - удлинение троса; $dL = L_u - L_0$, L_0 - длина троса в ненатянутом состоянии.

Полная механическая энергия - Q_s

$$\begin{aligned} Q_s &= Q_1 + Q_2 + Q_p \\ Q_1 &= m_1 (\mu_1 / R_1 - \mu_1 / R_1 + v_1^2 / 2); \quad Q_2 = m_2 (\mu_1 / R_2 - \mu_1 / R_2 + v_2^2 / 2); \quad (2) \\ Q_p &= E_m S_h (L_0 \ln(L_u / 2) - L_u) / m_1; \quad v_j^2 = x_j'^2 + y_j'^2, \quad j = 1, 2 \end{aligned}$$

В (2) Q_1, Q_2 определяют механическую энергию концевых блоков пращи.

Q_p - энергия продольных колебаний растяжимого троса.

Основные уравнения (продолжение)

Координаты движения центра масс прачи

$$x_c = (k_m x_2 + x_1) / (1 + k_m), y_c = (k_m y_2 + y_1) / (1 + k_m); \quad k_m = m_2 / m_1$$

Текущая высота центра масс прачи при орбитальном движении

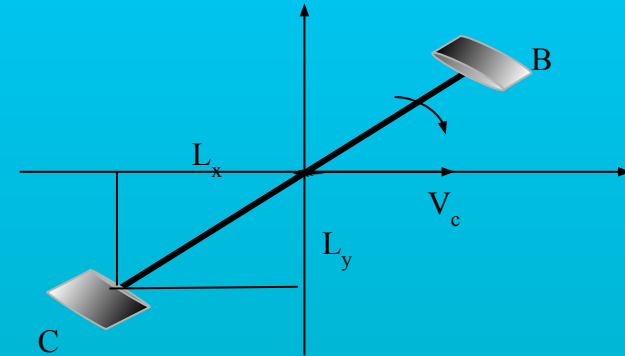
$$H = \sqrt{x_c^2 + y_c^2} - R.$$

Если электродвигатель на одном или сразу двух концевых блоках начинает подтягивать или отпускать трос на интервале времени $(0 < t < T)$, то его длина $L_0(t)$ в свободном состоянии

$$L_0(t) = L_0 - l(t)$$

Для реализации этой операции требуется затрата энергии

$$\Delta_1^T Q = \int dl(t)/dt F(t) dt \quad (3)$$



Законы управления длиной троса

А	$L_0 = L_0 + t \Delta l$
В	$L_0 = L_0 + l_0 f_\omega(t); \quad f_\omega(t) = L_x L_y / L_u^2$
А и В	$L_0 = L_0 + t \Delta l + l_0 f_\omega(t)$
С	$L_0 = L_0 + l_\Delta f_\omega(L) + h_p H f_\omega(t)$

Таблица

Начальные данные			Вариации параметров движения		
Вариант	Скорость вращения	Фаза возбуждения	Скорость вращения	Высота орбиты	Энергия аккумулятора
В ₁	по часовой стрелке $v_{lp} > 0$	$l_0 > 0$	v_{lp} – уменьшается	Н – увеличивается	ΔQ_B – увеличивается
В ₂	$v_{lp} > 0$	$l_0 < 0$	v_{lp} – увеличивается	Н – уменьшается	ΔQ_B – уменьшается
В ₃	Против часовой стрелки $v_{lp} < 0$	$l_0 > 0$	v_{lp} – увеличивается	Н – увеличивается	ΔQ_B – уменьшается
В ₄	$v_{lp} < 0$	$l_0 < 0$	v_{lp} – уменьшается	Н – уменьшается	ΔQ_B – увеличивается

Схема контакта блока A_2 с прачей A

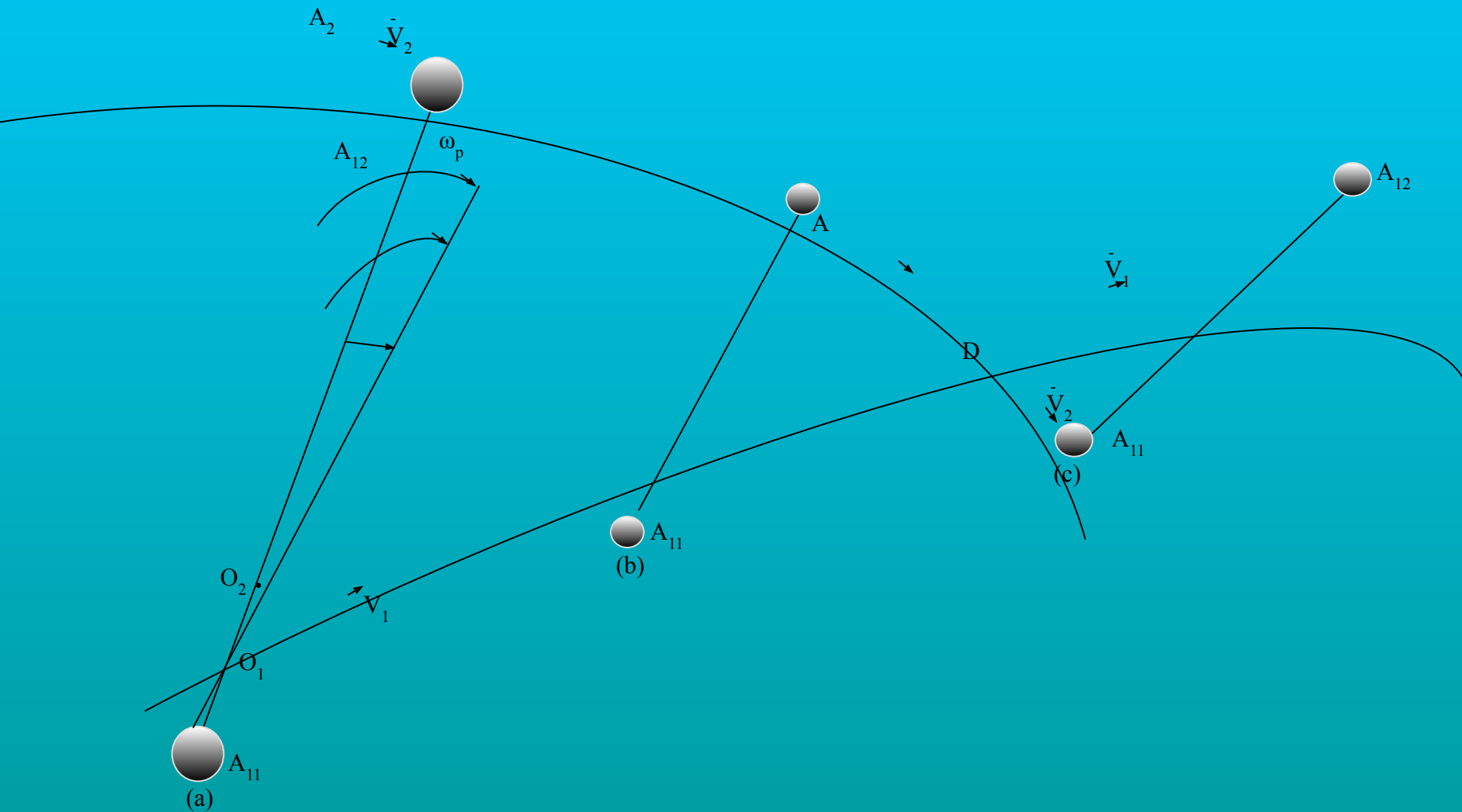
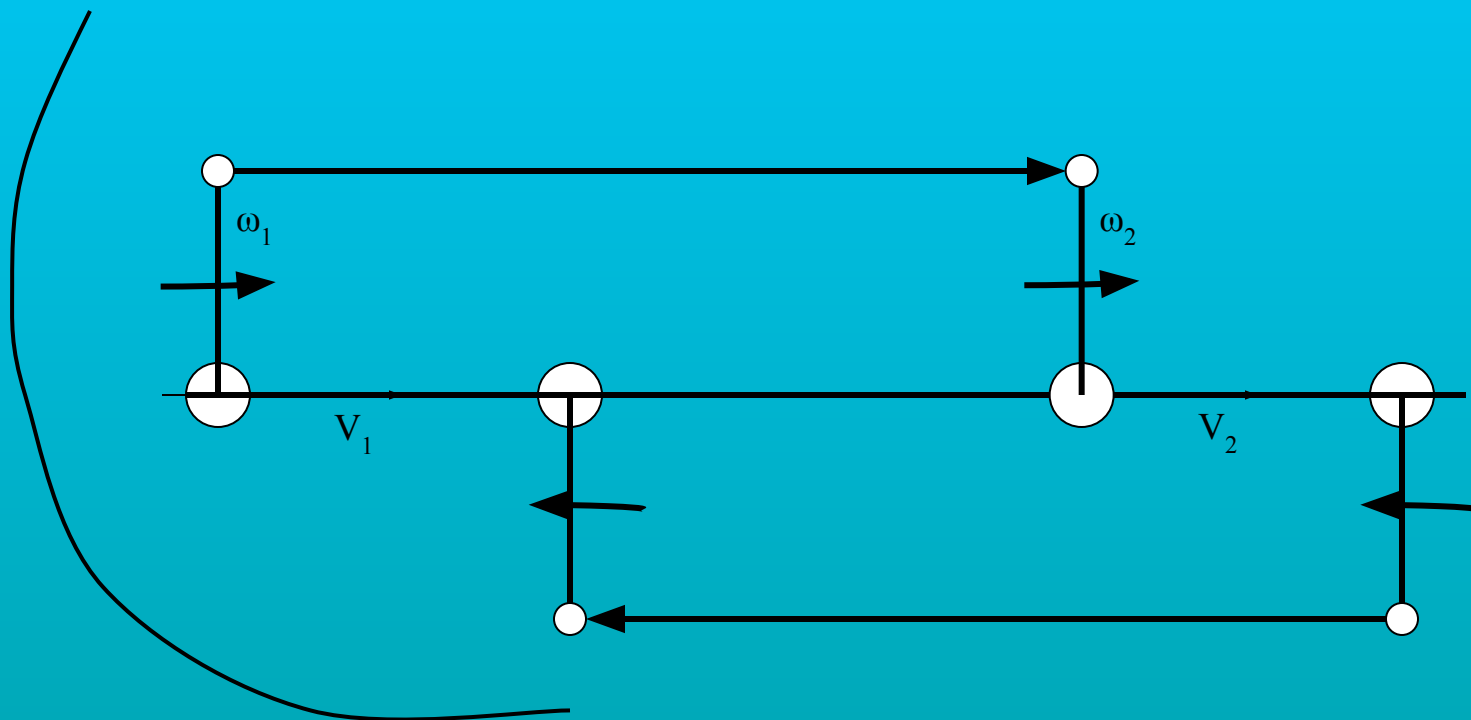
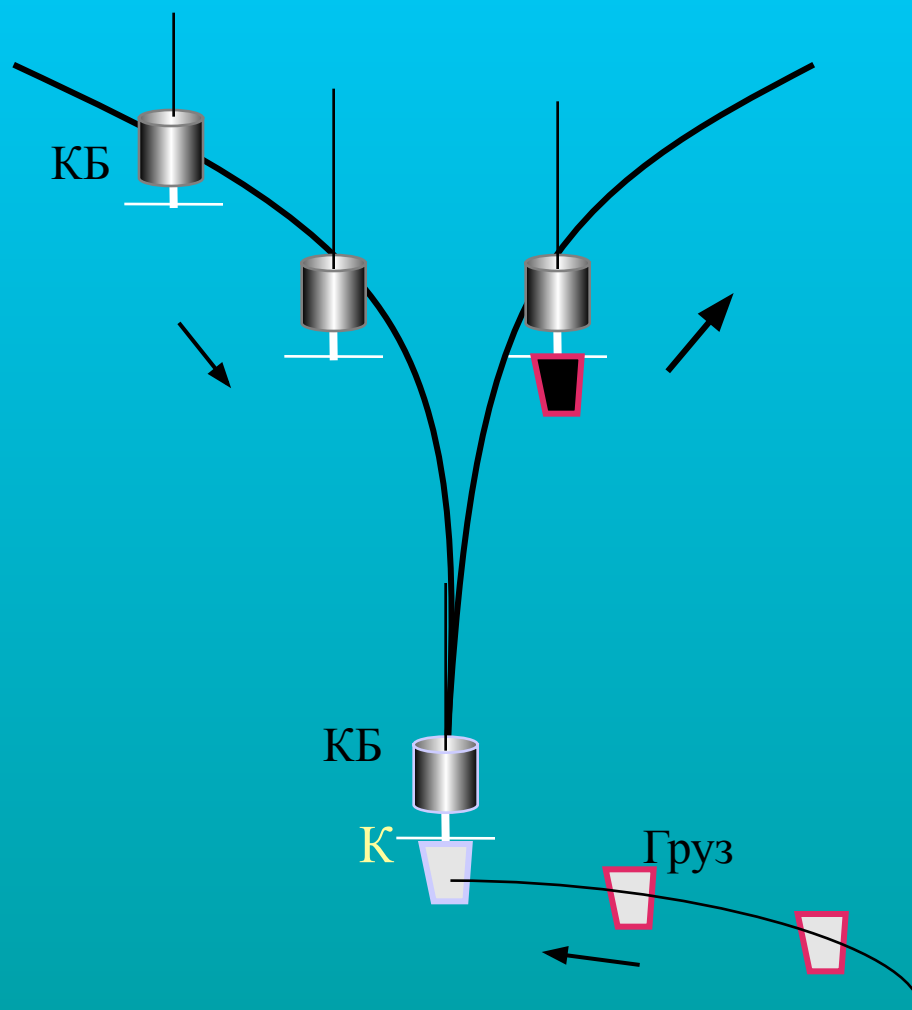


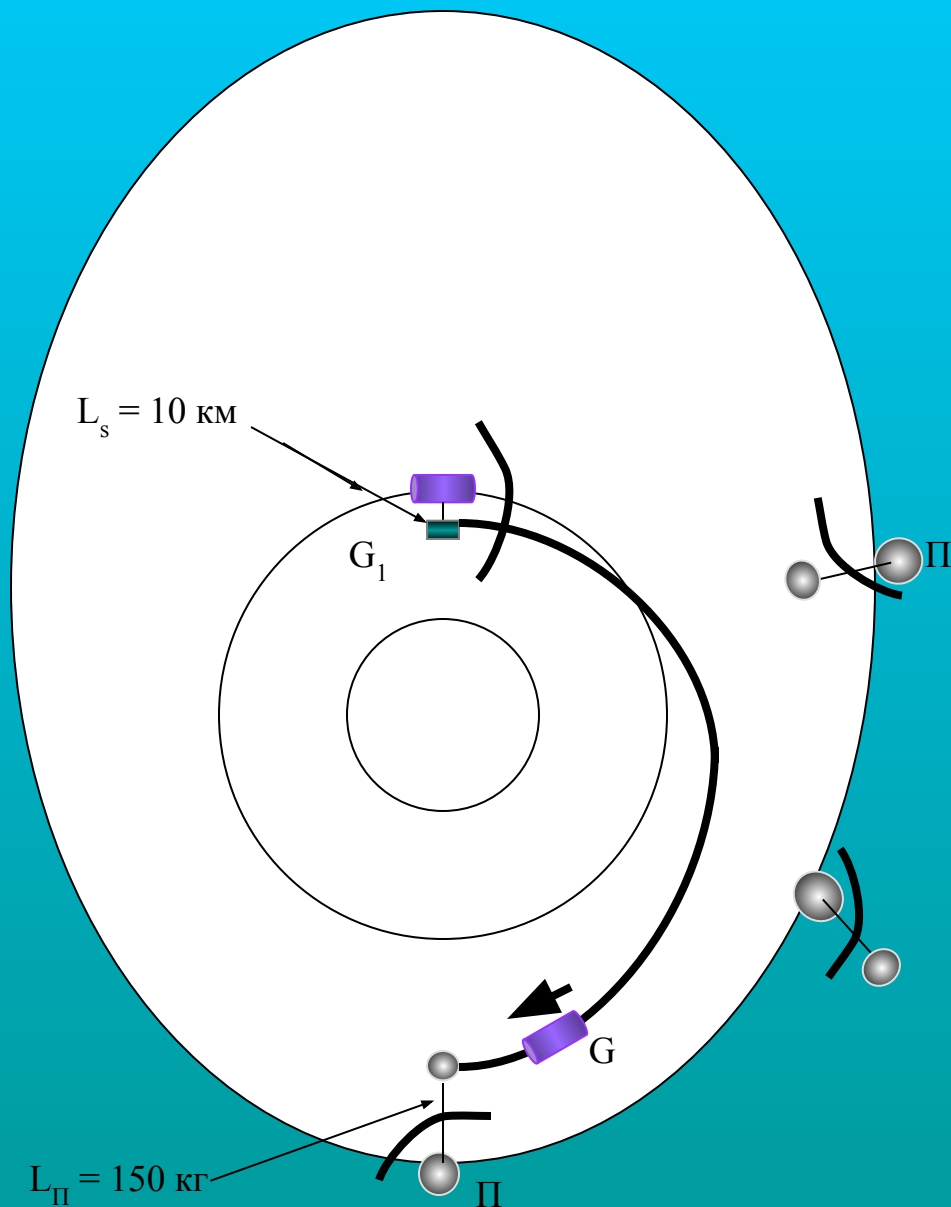
Схема передачи импульса скорости



Динамика стыковки груза с концевым блоком (КБ)



Первый перелет блока G



Орбита станции:

$$H_s = 400 \text{ км}; V_{kr} = 7673 \text{ м/с}$$

Орбита пращи:

$$H_a = 3200 \text{ км}$$

$$H_p = 700 \text{ км}$$

$$V_a^p = 5806 \text{ м/с}$$

$$V_{\Pi}^a = 8104 \text{ м/с}$$

Вес пращи 50 т; вес блока G₁ = 10 т

Перелетная орбита G₁:

$$H^{(G)} = 550 \text{ км}$$

$$H_a^{(G)} = 390 \text{ км}$$

$$Q_{\Pi}^{(1)} = 90000 \text{ кВтч}$$

$$V^{(G)} = 7544 \text{ м/с}$$

$$V_{\Pi}^a^{(G)} = 7723 \text{ м/с}$$

Скорость вращения пращи станции

$$V_{ks} = V_{\Pi} - V_{\Pi}^{(G)} = 50 \text{ м/с}$$

Скорость вращения пращи Π

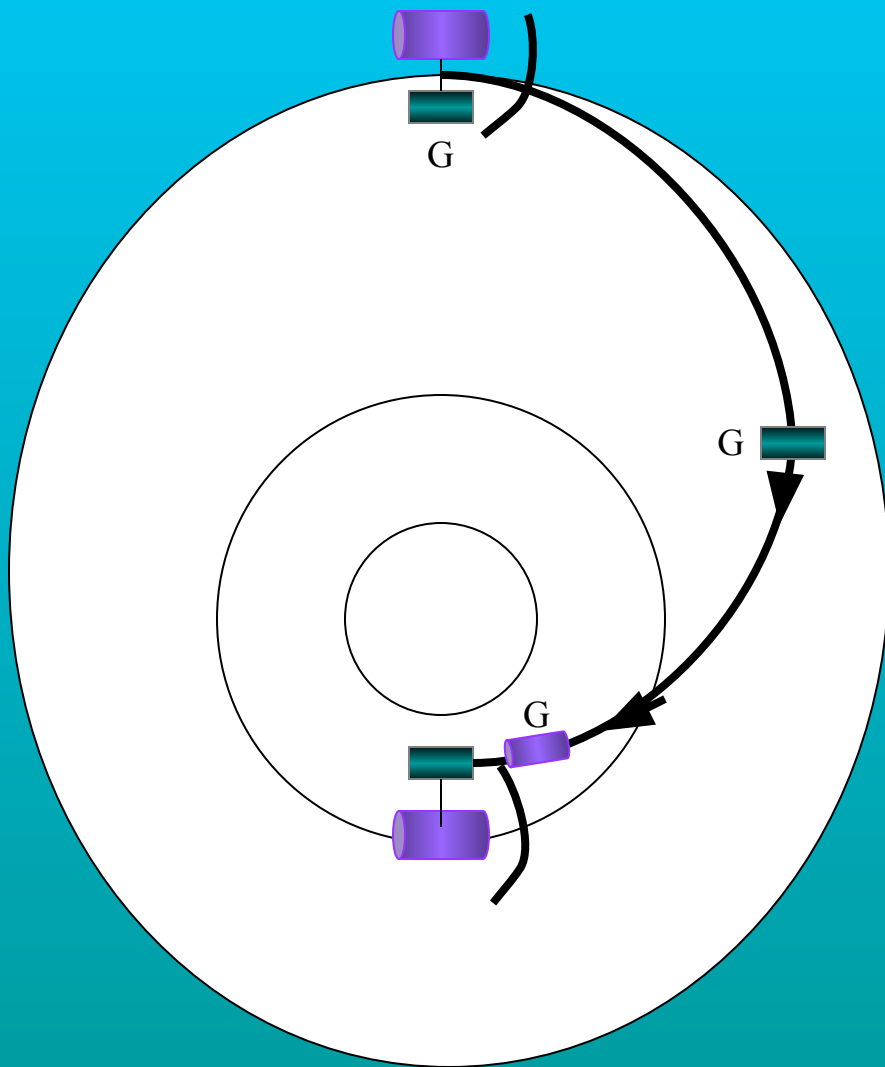
$$V_{к\Pi}^{(1)} = V_{\Pi} - V_a^{(G)} = 560 \text{ м/с}$$

После контакта параметры орбиты пращи:

$$H_{\Pi}^{(1)} = 675 \text{ км}; V_{\Pi}^{(1)} - V_{к\Pi}^{(1)} / 6 = 8011 \text{ м/с}$$

$$H_a^{(1)} = 2865 \text{ км}; V_{\Pi}^{(1)} = 6111 \text{ м/с}$$

Второй перелет блока G



Перелетная орбита:

$$H_s = 2855 \text{ км};$$

$$H_p = 300 \text{ км};$$

$$Q_{11}^{(2)} = 101000 \text{ кВтч};$$

$$V_a = 6021 \text{ м/с};$$

$$V_{\Pi}^a = 8328 \text{ м/с}$$

Скорость вращения пращи II

$$V_{\text{кп}}^{(2)} = V_a^{(1)} - V_a = 90 \text{ м/с}$$

Скорость вращения пращи на станции

$$V_{\Pi} - V_k = 655 \text{ м/с}$$

$$\Delta Q = Q_{21}^{(2)} - Q_{11}^{(1)} = 110000 \text{ кВтч};$$

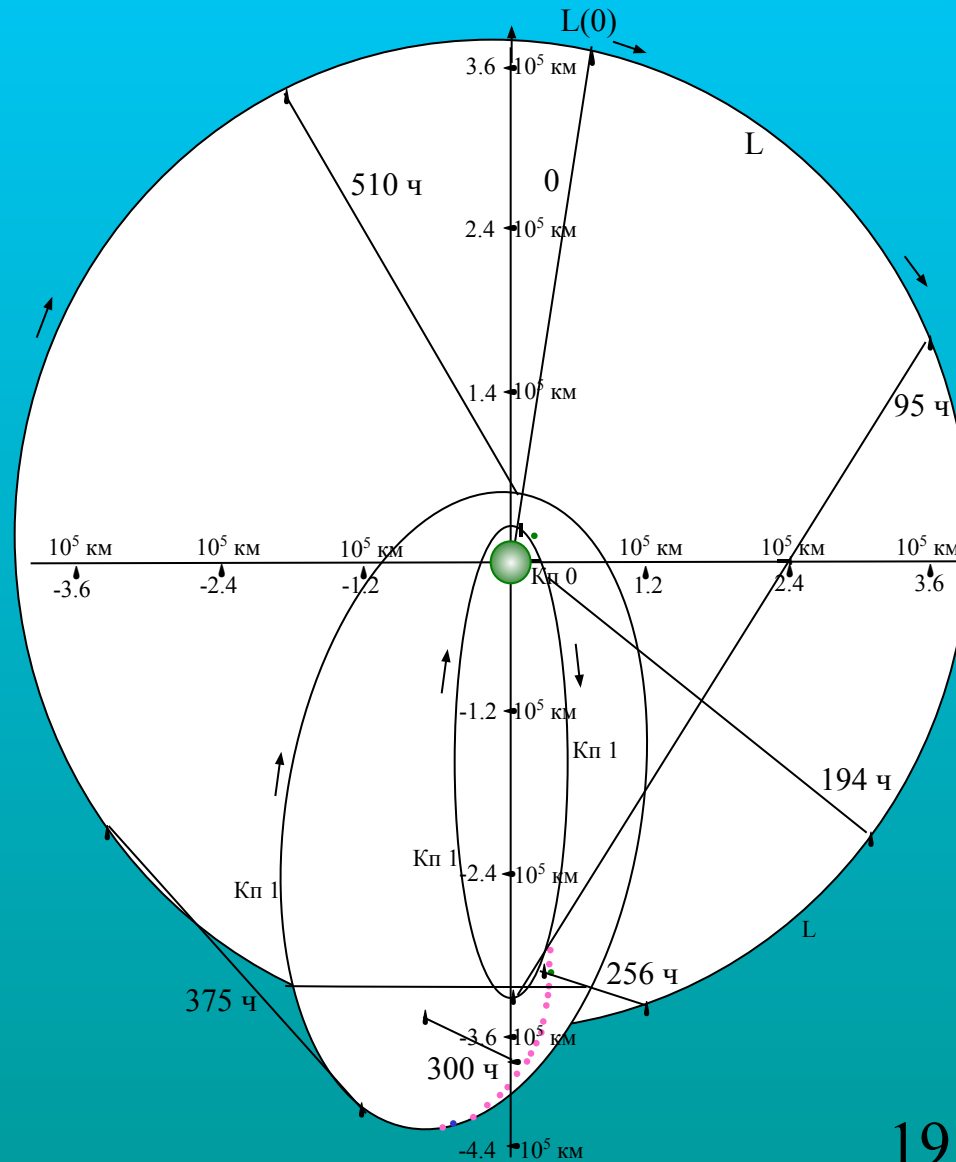
Эволюция орбиты пращи:

$$H_a \quad 3200 \rightarrow 2865 \text{ км}$$

$$H_{\Pi} \quad 700 \rightarrow 744 \text{ км}$$

$$\varepsilon \quad 0.165 \rightarrow 0.13$$

Пример гравитационного маневра праци A_3



Показано, что применение тросовых систем открывает возможность использования практически бесконечного источника энергии, а именно, механической энергии движения планет Солнечной системы.