

**И. М. Сидоров, Г. В. Веселова**

**О ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПАССИВНОЙ  
ОДНООСНОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ**

Представлено к печати  
зам. директора ИКИ РАН  
Р. Р. Назировым

**МОСКВА  
2013**

## **О возможности реализации пассивной одноосной гравитационной стабилизации Международной космической станции**

*И. М. Сидоров, Г. В. Веселова*

Рассматривается случай, когда Международная космическая станция оснащена тросовой системой. Анализируются две схемы подвеса троса. В каждой из них точка подвеса может перемещаться и таким образом менять момент силы, действующий на станцию со стороны троса. Предложены алгоритмы управления положением точки подвеса троса. Проведённое моделирование показывает, что предложенные алгоритмы позволяют реализовать одноосную гравитационную стабилизацию Международной космической станции.

## **On the possibility of the realization of the passive uniaxial gravitational stabilization of the International Space Station**

*I. M. Sidorov, G. V. Veselova*

We consider a variant in which the ISS is equipped with a tether system. Two schemes of suspension tether are considered. Each variant allows to move a point of suspension and thus change the moment of the force acting for the station from the tether. Algorithms for controlling the position of the point of suspension tether are devoted. The simulation shows that the proposed control algorithms allow to realize the uniaxial gravitational stabilization of the International Space Station.

## ВВЕДЕНИЕ

В работах [Сидоров, Веселова, 2013а, б] были предложены алгоритмы управления процессом развёртывания троса — гибкой связи блока-терминала с Международной космической станцией (МКС) с учётом возникающих в процессе развёртывания продольных колебаний троса и колебаний в плоскостях стабилизации.

Оснащение МКС тросовой системой приводит к появлению новой системы — орбитальной тросовой системы (ОТС) с новыми возможностями, в частности, для МКС.

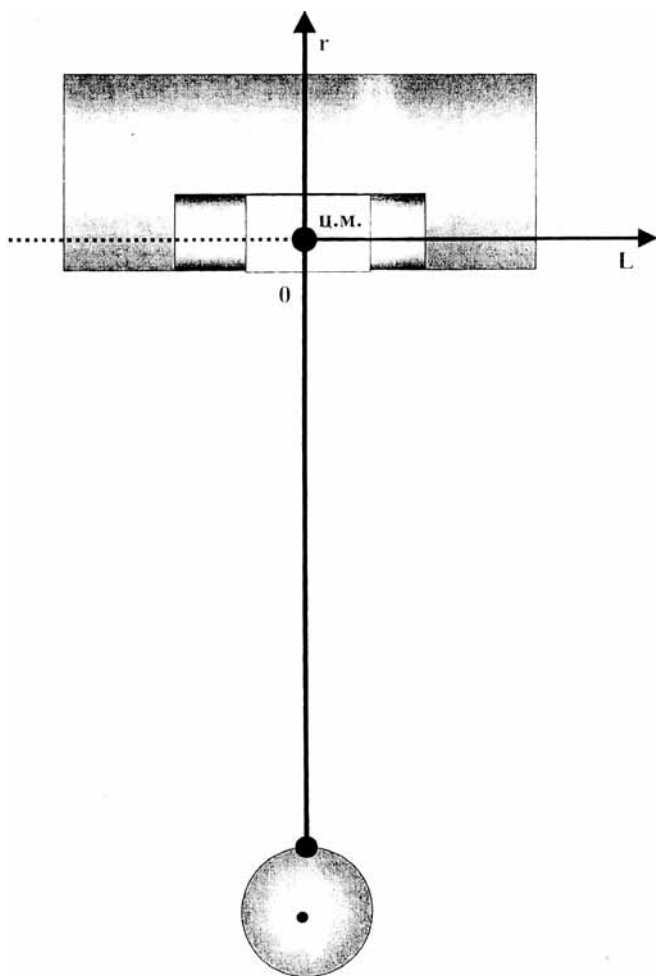
Одной из наиболее сложных проблем, решение которой необходимо для функционирования орбитальной станции, является система угловой стабилизации. В штатном режиме ориентация обеспечивается установленными на орбитальной станции системами гироскопов. Оснащение орбитальной станции тросовой системой позволит создать альтернативную систему угловой стабилизации.

Натянутый трос создаёт опорную ось в пространстве. Наличие такой оси даёт возможность выполнять необходимые угловые развороты орбитальной станции, а также решать задачи угловой стабилизации.

Новая система МКС — гибкая связь — блок-терминал позволяет реализовать пассивную одноосную гравитационную стабилизацию МКС, а также становится возможной высокоточная активная трёхосная стабилизация. В настоящей работе рассматривается первая из этих возможностей.

### **1. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ОРБИТАЛЬНОЙ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВХОДЯЩИХ В СИСТЕМУ БЛОКОВ**

Принципиальная схема системы МКС — блок-терминал с гибкой связью с МКС изображена на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема подвеса груза-терминала к МКС

В качестве гибкой связи используется **трос**, изготовленный из композитного материала (торнела или кевлара) в виде ленты шириной 5...10 мм и сечением  $\sim 1 \text{ мм}^2$ . Такой выбор существенно уменьшает вероятность повреждения троса микрометеоритами. Длина троса — 5 км, вес  $\sim 7$  кг. При этих параметрах запас прочности троса составляет 1000 единиц. Некоторые возможные схемы подвески троса для решения задачи стабилизации приведены ниже.

Развёртывание и свёртывание троса [Сидоров, Веселова, 2013а, б], его выпуск и подтягивание осуществляется с помощью **электропривода**, установленного на МКС. Мощность электродвигателя привода —  $\sim 1$  Вт. Привод должен обеспечивать управляемую скорость вращения с точностью  $\sim 1$  см/с.

Для реализации одноосной гравитационной стабилизации необходимо перемещать электропривод, для чего должен быть предусмотрен соответствующий механизм перемещения в блоке электропривода.

**Терминальный блок** представляет собой груз массой  $\sim 20$  кг. На рис. 1 груз-терминал изображён в виде шара. Для наблюдения за движением груза используется **телевизионная камера и позиционно-чувствительный оптический датчик** или лазерный дальномер, установленные на МКС.

Терминальный блок крепится к тросу с помощью **мягкой пружины**. Пружина должна обеспечивать натяжение, компенсирующее динамическую нагрузку троса —  $\sim 3\text{...}5$  г/см. Установленный в терминальном блоке **датчик натяжения** должен измерять растяжение пружины с точностью до 1 мм; эта информация передаётся в блок привода на МКС. Для выталкивания груза-терминала необходимо устройство, которое отталкивало бы груз от МКС, — например, **пружинный толкатель**.

В процессе развёртывания троса и при дальнейшем движении единственным управляющим органом является привод, установленный на МКС. Привод должен управлять скоростью разматывания троса, и после развёртывания троса привод должен по заданному закону подтягивать и отпускать трос.

## 2. АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ, РЕАЛИЗУЮЩИЕ ПАССИВНУЮ ОДНООСНУЮ ГРАВИТАЦИОННУЮ СТАБИЛИЗАЦИЮ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ГИБКОЙ СВЯЗИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЕЮ, НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

### 2.1. Задача угловой одноосной ориентации концевых блоков орбитальной тросовой системы

Прежде чем обратиться к задаче угловой стабилизации орбитальной станции, рассмотрим задачу угловой одноосной ориентации концевых блоков орбитальной тросовой системы. В работах [Сидоров, Веселова, 2013а, б] рассматривалась система управления

процессом развёртывания троса, при этом МКС рассматривался базовым блоком (блок А). Трос соединяет МКС с грузом-терминалом. Далее этот груз будем называть блоком В. В работе [Иванов, Сидоров, 2003] рассмотрен более общий случай: процесс развёртывания рассматривался в предположении, что эксперимент проводится как попутный запуск; в качестве базового блока А используется отработавшая вторая ступень ракеты – носителя. От неё отделяется груз (блок В), связанный с ней тросом.

После завершения развёртывания троса на заданную длину тросовая система представляет собой блок А и блок В, связанные натянутым тросом. При движении по орбите ОТС может находиться в следующих состояниях:

- **режим движения ОТС как космического маятника.** В этом случае тросовая система совершает колебания относительно направления радиус-вектора;

- **режим движения пращи,** когда тросовая система вращается около центра масс.

В варианте космического маятника частота колебаний ОТС в плоскости орбиты определяется как

$$\omega_1 = \sqrt{3} \cdot \omega, \quad (1)$$

где  $\omega$  — угловая скорость движения центра масс ОТС по круговой орбите с высотой  $H$

$$\omega = \sqrt{\frac{\mu}{(R + H)^3}}, \quad (2)$$

где  $\mu$  — гравитационный параметр.

Схема расположения объекта и груза показана на рис. 2.

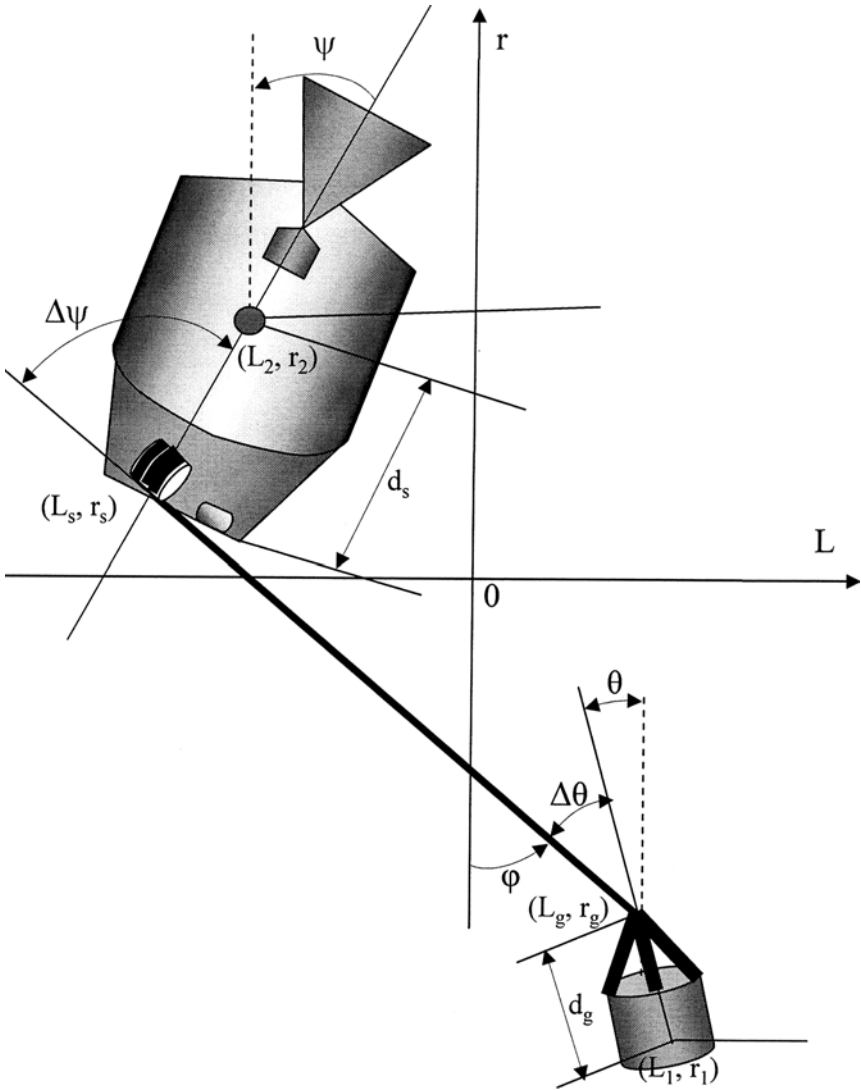
При решении задачи развёртывания ОТС предполагается, что длина троса сравнительно невелика. Это позволяет для аналитического исследования динамики движения ОТС использовать линеаризованные уравнения в орбитальной системе (ОС) координат.

Начало координат выбирается в центре масс тросовой системы.

Ось  $(0L)$  направлена по вектору скорости; ось  $(0r)$  — по радиус-вектору;  $(L_1, r_1)$  — координаты центра масс блока В,  $(L_2, r_2)$  — координаты центра масс блока А;  $(L_s, r_s)$ ,  $(L_g, r_g)$  — координаты точек крепления троса.

Расстояние между точками крепления троса —  $S_k(t)$ ;  $\varphi$  — угол между направлением троса и осью  $(0r)$ ;  $\psi$  — угол между продольной осью блока А и осью  $(0r)$ ;  $\theta$  — угол между осью блока В и осью

(0r). Углы отсчитываются против часовой стрелки;  $\Delta\psi$ ,  $\Delta\theta$  — углы отклонения осей блоков А и В от направления троса;  $\Delta\psi = \varphi - \psi$ ,  $\Delta\theta = \varphi - \theta$ .



**Рис. 2.** Схема расположения объекта и груза в процессе развёртывания троса

Угол  $\varphi$  определяется из выражений

$$\sin \varphi = \frac{L_s - L_g}{S_k}, \quad \cos \varphi = \frac{r_s - r_g}{S_k}.$$

При решении задачи развертывания троса, особенно на первом этапе, наряду с уравнениями, которые описывают движение центра масс блоков А и В, необходимо рассмотрение уравнений углового движения

$$\left. \begin{aligned} L_j'' &= -2\omega r_j' + \gamma_j F(t) \frac{L_s L_g}{S_k} m_j, \\ r_j'' &= 2\omega L_j' + 3\omega^2 r_j + \gamma_j F(t) \frac{r_s - r_g}{S_k} m_j, \\ \Delta\theta'' &= F(t) d_g \sin \frac{\Delta\theta}{J_g}, \\ \Delta\psi'' &= -F(t) d_s \sin \frac{\Delta\psi}{J_s}, \quad j=1, 2, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $m_1, m_2$  — массы блоков В и А соответственно;  $J_g, J_s$  — моменты инерции;  $d_g$  — расстояние между точкой крепления троса и центром масс блока В;  $d_s$  — расстояние между точкой крепления троса и центром масс блока А.

***Сила натяжения, действующая вдоль натянутого троса, обеспечивает стабилизирующий момент, и в установившемся режиме направление продольной оси блоков А и В стремится совпасть с вектором направления троса.***

Начальные условия развертывания и переходные процессы приводят к появлению дополнительных колебаний на частотах собственных колебаний блоков А и В.

В процессе движения углы  $\psi$  и  $\theta$  между направлением продольной оси блоков и направлением радиус-вектора совершают колебания одновременно на частоте  $\omega_1$  и на собственных частотах  $\omega_s$  и  $\omega_g$  для блоков А и В соответственно. Углы изменяются следующим образом.

$$\left. \begin{aligned} \psi &= A_1 \sin(\omega_1 t + \psi_{10}) + A_2 \sin(\omega_s t + \psi_{20}), & \omega_s^2 &= F(t) \frac{d_s}{J_s}, \\ \theta &= B_1 \sin(\omega_1 t + \theta_{10}) + B_2 \sin(\omega_g t + \theta_{20}), & \omega_g^2 &= F(t) \frac{d_g}{J_g}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$



Задача угловой стабилизации для блоков А и В состоит в подавлении колебаний на собственных частотах, т. е. в выполнении условий:

$$A_2 = 0, \quad B_2 = 0.$$

Можно рассмотреть два способа уменьшения амплитуды собственных колебаний: активный и пассивный.

Для активного подавления собственных колебаний необходимо определять в каждый текущий момент времени  $t_{k+1} = t_k + T_0$  значения  $A_2, B_2, \omega_s, \omega_g, \psi_{20}, \theta_{20}$ .

С этой целью можно использовать показания позиционно-чувствительного оптического датчика с матрицей ПЗС, установленного на блоке А. Предполагается, что датчик в системе координат, связанной с блоком А, в каждый момент времени  $t_k$  определяет угловое положение блока В; шаг опроса информации  $T_0$ . Далее, используя разработанные методы выделения из сигнала скрытых периодичностей [Сидоров, Тимофеев, 1984], определяются параметры гармонических составляющих сигнала на собственных частотах. Управление собственными колебаниями выполняется в результате работы привода, установленного на блоке А. Привод изменяет длину  $S_k(t)$  троса на удвоенной частоте собственных колебаний.

$$S_k(t) = S_0 + p_\psi \sin(2\omega_s t + 2\psi_{20}), \quad (5)$$

где  $p_\psi$  — амплитуда изменения длины троса. Натяжение троса изменяется следующим образом:

$$F(t) = F_c (1 - \beta \sin 2\omega_s t), \quad \beta = 4p_\psi \frac{\omega_s^2}{\omega^2}. \quad (6)$$

В этом случае реализуется параметрическое возбуждение, а амплитуда собственных колебаний будет изменяться как

$$A_2(t) = A_2(0) e^{\alpha_\psi t}. \quad (7)$$

Значение  $\alpha_\psi$  определяется как

$$\alpha_\psi = -\frac{\omega_s \beta}{4}. \quad (8)$$

В том случае, когда на блоке отсутствует система определения углового положения, нет возможности реализовать активное подавление собственных колебаний. Для дополнительного подавления колебаний можно предложить такую схему подвески блока, которая обеспечивает демпфирование угловых колебаний.

В результате подавления собственных колебаний блоков тросовая система приходит к такому состоянию, когда центры масс концевых блоков располагаются на продолжении линии натянутого троса.

## **2.2. Задача обеспечения стабилизации орбитальной системы в плоскости тангажа**

Далее рассмотрим задачу обеспечения угловой ориентации в плоскости тангажа, т. е. в плоскости, в которой происходит колебание тросовой системы.

### ***2.2.1. Некоторые возможные схемы подвески троса к орбитальной системе***

На рис. 3 и 4 показаны возможные схемы подвески троса к орбитальной станции.

На рис. 3 трос в точке 3 крепится к растяжке из двух отрезков троса длиной  $c_1$  и  $c_2$ . Сила натяжения направлена вдоль троса  $c_3$ . Величина  $p_1$  — плечо, которое определяет момент силы, вращающий станцию. Управление угловым положением станции предлагается осуществлять соответствующим изменением величины этого момента. С этой целью можно, например, поставить привода в точках 1 и 2, которые должны подтягивать или отпускать отрезки тросов  $c_1$  и  $c_2$ . Это тем более необходимо, ввиду того, что в процессе колебания тросовой системы вектор натяжения  $\mathbf{F}$  изменяет свое направление. Так как точка подвеса троса расположена ниже центра масс станции, то угловой поворот вектора натяжения создает момент сил, вращающий станцию. Изменение длины отрезков  $c_1$  и  $c_2$ , как показано на рис. 3, перемещает точку 3 крепления троса вдоль оси  $OX_s$ .

На рис. 4 показана схема другого варианта крепления троса. Предлагается вдоль нижней поверхности станции перемещать управляемую тележку, к которой в точке 3 крепится трос. Тележка перемещается по поверхности станции по направляющим. Для управления угловым положением станции необходимо задать алгоритм управления движением тележки.

Задача построения управления в обоих этих вариантах одинакова, и поэтому на данном предварительном этапе исследования примем вариант крепления троса, показанный на рис. 4.

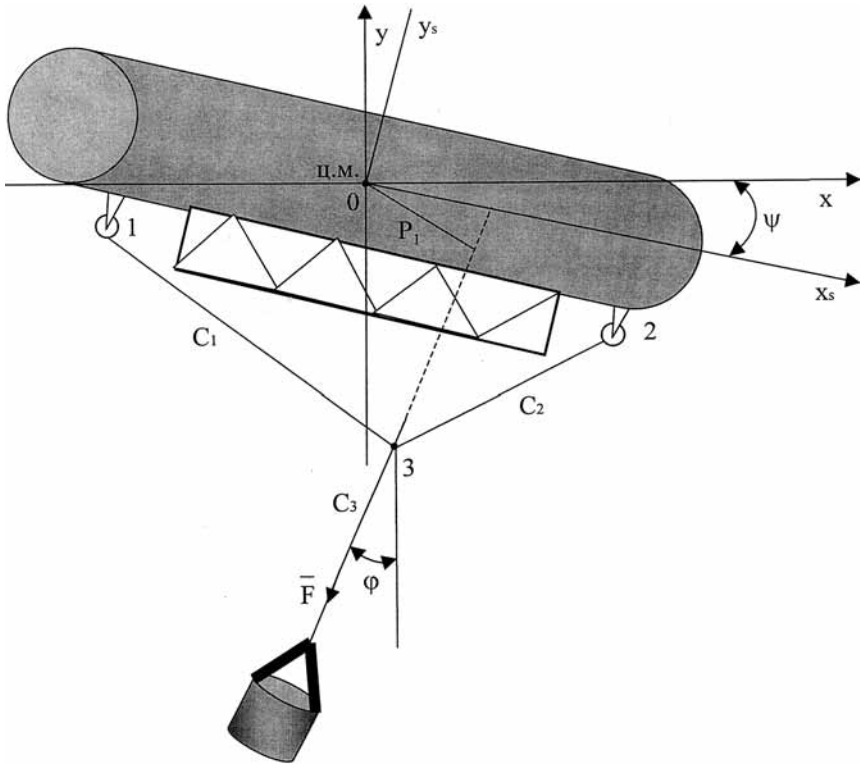


Рис. 3. Вариант 1 крепления троса к МКС

### 2.2.2. Уравнение углового движения орбитальной системы в плоскости тангажа

Уравнение углового движения в плоскости тангажа орбитальной станции, оснащенной тросовой системой, имеет следующий вид:

$$\psi'' = F_s [N] \left| \cos \varphi(t) \right| \frac{S_\psi + \psi L_s + S_\psi^p + \Delta S_\psi}{J_\psi} + \frac{M_\psi}{J_\psi}, \quad (9)$$

где  $\psi$  — угол поворота станции в плоскости тангажа;  $\varphi(t)$  — угол между направлением троса и радиус-вектором, направленным к центру Земли;  $L_s$  — расстояние от направляющих, по которым должна двигаться тележка, до центра масс станции;  $S_\psi^p$  — программное перемещение тележки в процессе колебания тросовой

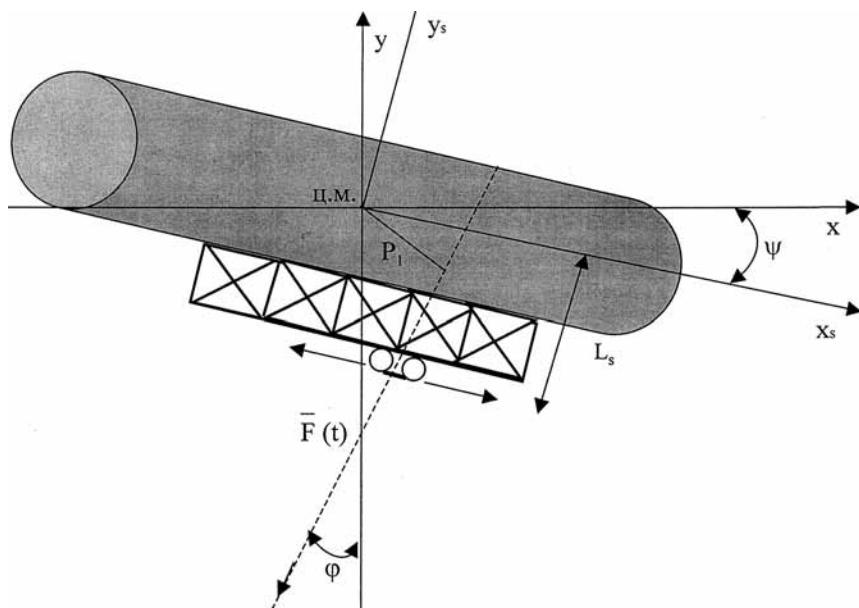


Рис. 4. Вариант 2 крепления троса к МКС

системы;  $\Delta S_\psi$  — ошибка в определении величины перемещения тележки вдоль оси  $OX$ . В значение этой ошибки включается также возможное отклонение центра масс станции от расчетного значения;  $F_s[\text{N}]$  — натяжение троса в точке крепления троса к станции, эта величина определяется в каждый момент времени  $t$  интегрированием системы уравнений (3);  $J_\psi$  — момент инерции станции в плоскости тангажа;  $M_\psi$  — возмущающий момент, действующий на станцию в плоскости тангажа;  $S_\psi$  — управляемое значение перемещения тележки по направляющим вдоль оси  $OX$ .

### 2.2.3. Построение управления стабилизацией углового движения орбитальной системы

Величина  $S_\psi$  в уравнении (9) определяется следующим образом:

$$S_\psi(t) = a_{\psi 0} \psi(t) + a_{\psi 1} \psi'(t). \quad (10)$$

Выбор параметров  $a_{\psi 0}$ ,  $a_{\psi 1}$  в уравнении (10) представляет определенные трудности. Предлагается следующий способ выбора параметров управления.

Используем метод решения краевой задачи. Предполагается, что в начальный момент времени  $t = 0$  заданы начальные условия  $\psi(0)$ ,  $\psi'(0)$ . Требуется в момент времени  $t = T$  выполнение условий

$$\psi(T) = 0, \quad \psi'(T) = 0, \quad (11)$$

где  $T$  — интервал времени решения краевой задачи.

Как показано в работе [Сидоров и др., 1981], управление определяется следующим образом:

$$S_{\psi} = \frac{12\psi(t)/(T-t)^2 + 6\psi'(t)/(T-t)}{A_{\psi}}, \quad (12)$$

где

$$A_{\psi} = \frac{F[N]|\cos\varphi(t)|}{J_{\psi}}. \quad (13)$$

Для решения задачи стабилизации требуется не столько приведение системы к угловым значениям (11), сколько поддержание в течение длительного времени значений угла  $\psi(t)$  и угловой скорости  $\psi'(t)$  в заданных пределах.

Для построения системы угловой стабилизации станции по аналогии следует выбрать следующий закон управления

$$S_{\psi}(t) = \frac{12\psi(t)/T^2 + 6\psi'(t)/T}{A_{\psi}}, \quad (14)$$

Величина  $T$  в (14) — параметр, который должен выбираться на основе анализа переходных процессов. В рассматриваемых примерах значение  $T$  принимается в пределах 40...100 с.

Таким образом, предлагаются следующие параметры управления

$$a_{\psi 0} = \frac{12}{A_{\psi} T^2}, \quad a_{\psi 1} = \frac{6}{A_{\psi} T}. \quad (15)$$

Для того чтобы улучшить качество переходных процессов, в алгоритм управления (14) следует включить программное значение  $S_{\psi}^p(t)$  перемещения тележки по направляющим. Это перемещение есть следствие колебаний тросовой системы. И достаточно точно определяется на основе результатов интегрирования соответствующей (3) системы уравнений. В рассматриваемой схеме подвески троса, которая показана на рис. 4, предполагается, что

тележка перемещается вдоль продольной оси  $OX$  орбитальной станции. Программное перемещение определяется как

$$S_{\psi}^p(t) = L_s \operatorname{tg}\varphi(t). \quad (16)$$

Возможные неточности в вычислениях приводят к появлению ошибки  $\Delta S_{\psi}$  в определении координаты точки подвеса груза к тележке. Таким образом, окончательное выражение для закона управления перемещением тележки по направляющим имеет вид

$$S_{\psi}(t) = a_{\psi 0} \psi(t) + a_{\psi 1} \psi'(t) - S_{\psi}^p(t). \quad (17)$$

### 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ГИБКОЙ СВЯЗИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЕЮ, НА ИМИТАЦИОННОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

#### 3.1. Система уравнений управления угловой стабилизацией станции в плоскости тангажа

Величина  $S_{\psi}(t)$  определяет желаемое значение перемещения тележки, но необходимо учитывать инерционность исполнительного органа, поэтому для моделирования процессов управления ориентацией необходимо дополнить уравнение (9) угловых колебаний станции уравнением, которое характеризует движение тележки по направляющим.

Система уравнений управления угловой стабилизацией станции в плоскости тангажа имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \psi'' &= F_s [N] \left| \cos \varphi(t) \left| \frac{S_r + \psi L_s + S_{\psi}^p + \Delta S_{\psi}}{J_{\psi}} + \frac{M_{\psi}}{J_{\psi}} \right. \right|, \\ n_1 S_r'(t) + S_r(t) &= S_{\psi}(t). \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

В отличие от уравнения (9) в системе (18) исполнительным сигналом является не значение  $S_{\psi}(t)$ , а реальная величина перемещения тележки  $S_r(t)$ . Коэффициент  $n_1$  в уравнении (18) характеризует запаздывание реализации величины управляющего сигнала.

#### 3.2. Примеры моделирования

На рис. 5 показаны переходные процессы регулирования для значения  $T = 100$  с. Заданы начальные условия по угловым координатам станции в начальный момент времени  $t = 0$ :

$$\psi(0) = 0,05, \quad \psi'(t) = 0,0001 \text{ с}^{-1}.$$

Предполагается, что в момент времени  $t = 0$  величина перемещения тележки составляет  $S_r(0) = 3,3$  м. Так как управляющее значение  $S_\psi(0)$  перемещения тележки, определяемое формулой (17), будет отличаться от  $S_r(0)$ , то согласно второму уравнению системы (18), разница между величинами  $S_r(t)$  и  $S_\psi(t)$  будет стремиться к нулю.

Скорость передвижения тележки определяется интегрированием системы (18).

$$V_s(t) = S_r'(t).$$

С учётом возможностей реализации заданного движения тележки необходимо учитывать, что максимальная скорость ограничена величиной  $V_s(t)$ .

При моделировании системы уравнений вводится дополнительное условие, которое выполняется в каждый текущий момент времени  $t$ :

$$\text{если } |V_s(t)| < V_m(t), \text{ то } V_s(t) = V_m(t).$$

На рис. 5 показаны графики изменения переменных  $\psi(t)$ ,  $\psi'(t)S_r(t)$ ,  $V_s(t)$  в случае, когда решается краевая задача в момент времени  $t = T$ . Как видно из этих графиков, значения переменных по углу приводятся к нулю.

На рис. 5а (и для рис. 6а и 7а) показаны величины управления в зависимости от времени:  $S_\psi(t)$  — управляемое значение перемещения тележки по направляющим вдоль оси  $OX$ ;  $S_r(t)$  — реальная величина перемещения тележки  $S_r(t)$ ;  $V_r(t) = S_r'(t)$  — скорость перемещения тележки. На рис. 5б (и для рис. 6б и 7б) показан отклик станции на управление, т.е. изменение угла поворота станции  $\psi$  и скорости его изменения.

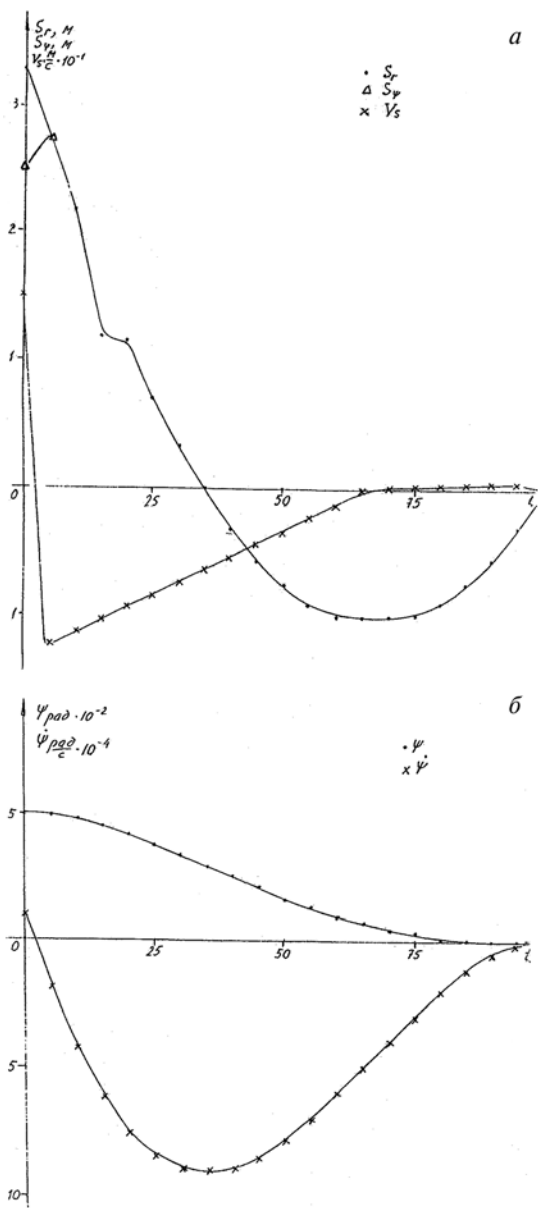
Как правило, ставится задача не приведения угловых параметров к нулю, а поддержание значений этих параметров в заданных пределах. Параметры управления в этом случае выбираются по формулам (15) постоянными.

Соответствующие графики переменных приведены на рис. 6.

На рис. 7 показан пример процесса управления угловым движением орбитальной станции на интервале времени  $(0 < t < T_k)$ , при условии, что тросовая система совершает колебания с амплитудой 0,2 в плоскости орбиты с частотой  $\omega_1$ .

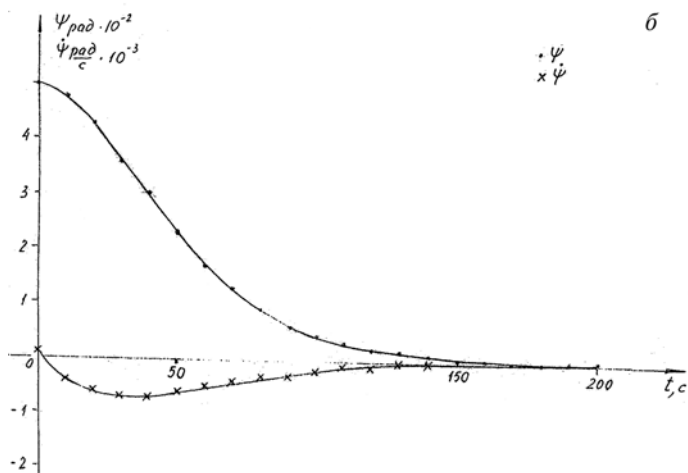
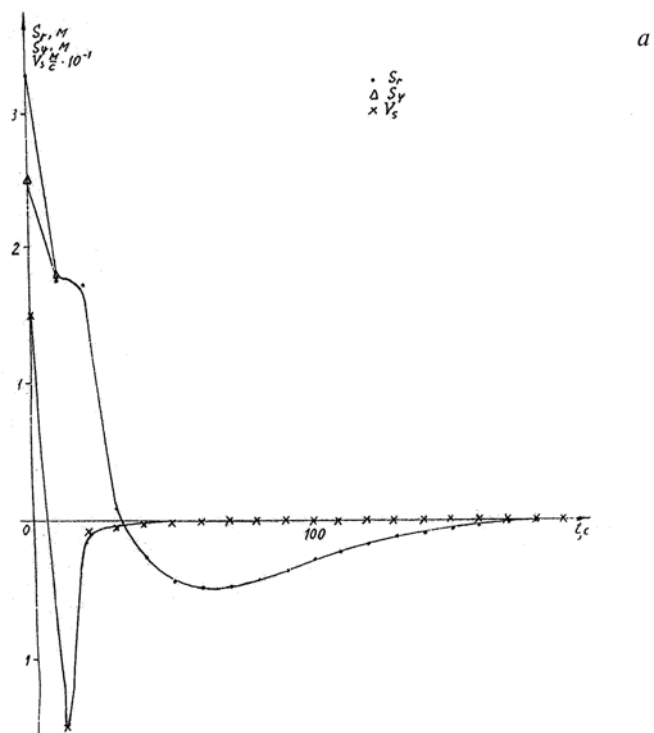
Продолжительность полного периода колебаний тросовой системы для орбиты МКС составляет величину

$$T = \frac{2\pi}{\omega_1} = 3000 \text{ с.}$$



**Рис. 5.** Пример управления движением ОС при отсутствии колебаний троса для случая решения краевой задачи в момент  $t = T$  и приведения угловых параметров  $\psi(T)$  и  $\dot{\psi}(T)$  к нулю





**Рис. 6.** Пример управления движением ОС при отсутствии колебаний троса для случая поддержания значений угловых параметров в заданных пределах

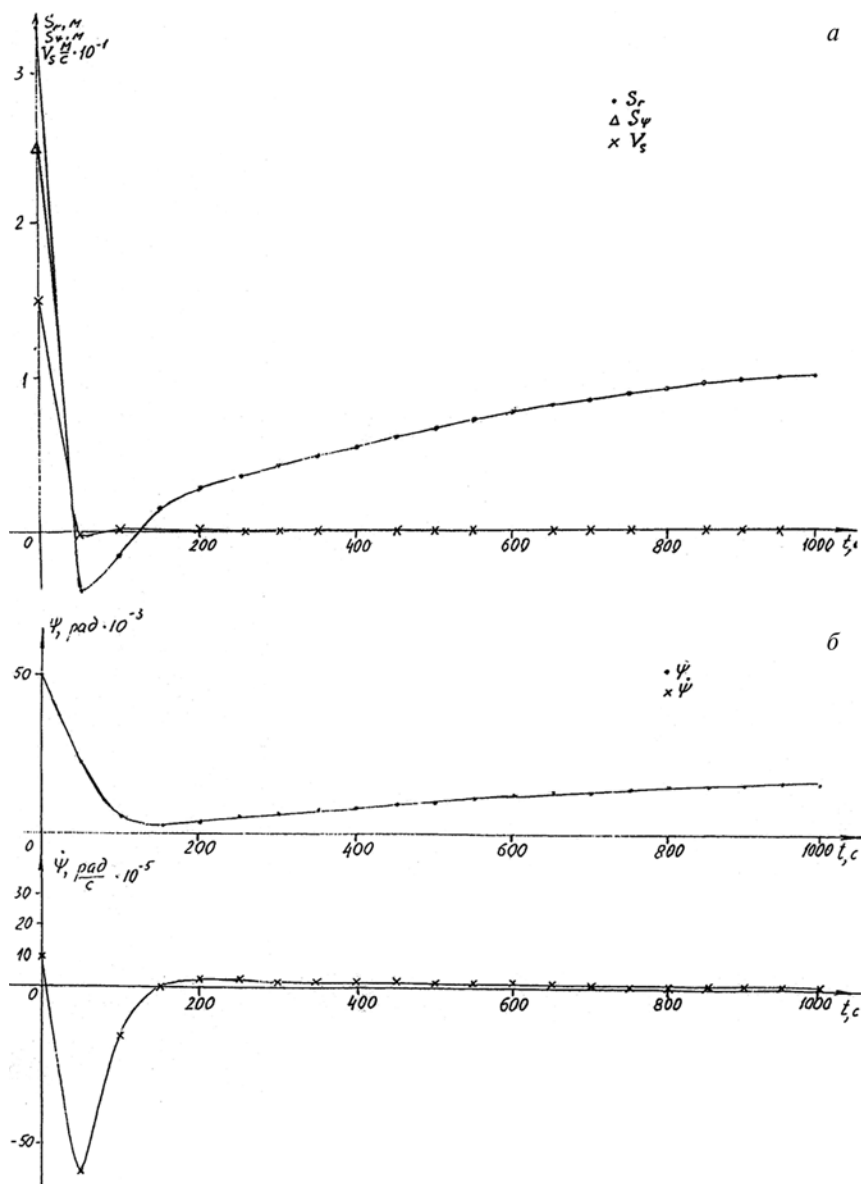


Рис. 7. Пример управления угловым движением ОС при наличии колебаний троса

В этом случае тележка должна непрерывно перемещаться по направляющим для коррекции переменного по времени момента сил натяжения троса. Тем не менее, угловое положение станции остаётся в заданных пределах.

Таким образом, при введении в управление согласно (16) величины программного перемещения  $S_{\psi}^p(t)$  качество процессов регулирования существенно улучшается.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое математическое моделирование процесса одноосной гравитационной стабилизации орбитальной системы показало, что управление положением точки подвеса троса с помощью предложенного в работе алгоритма управления в зависимости от величины натяжения троса, измеряемого специальным датчиком, установленным на грузе-терминале, показаний позиционно-чувствительного детектора, установленного на Международной космической станции, и данных системы определения орбитальной ориентации, приводит к одноосной стабилизации орбитальной системы.

## ЛИТЕРАТУРА

- [Иванов, Сидоров, 2003] *Иванов Н. Н., Сидоров И. М.* О возможности реализации комплексного эксперимента по развёртыванию тросовой системы на основе использования второй ступени ракеты-носителя «Космос-3М» // Полёт. 2003. № 11. С. 28–34.
- [Сидоров, Веселова, 2013а] *Сидоров И. М., Веселова Г. В.* О возможности развёртывания орбитальной тросовой системы на базе Международной космической станции: Препринт ИКИ РАН. М.: ИКИ РАН, 2013. Пр-2167. 24 с.
- [Сидоров, Веселова, 2013б] *Сидоров И. М., Веселова Г. В.* Свёртывание орбитальной тросовой системы: Препринт ИКИ РАН. М.: ИКИ РАН, 2013. Пр-2168. 16 с.
- [Сидоров, Тимофеев, 1984] *Сидоров И. М., Тимофеев В. В.* Многочастотные колебания в нелинейных системах управления. М.: Наука, 1984. 248 с.
- [Сидоров и др., 1981] *Сидоров И. М., Гончарова Л. Е., Лебедев В. Г.* Управление движущимися объектами на основе алгоритма с моделью. М.: Машиностроение, 1981. 232 с.

## Оглавление

Введение . . . . .	3
1. Принципиальная схема орбитальной тросовой системы на базе Международной космической станции. Предварительные параметры входящих в систему блоков . . . . .	3
2. Алгоритмы управления, реализующие пассивную одноосную гравитационную стабилизацию Международной космической станции. Моделирование основных динамических процессов, возникающих в гибкой связи при управлении ею, на имитационной модели . . . . .	5
2.1. Задача угловой одноосной ориентации концевых блоков орбитальной тросовой системы . . . . .	5
2.2. Задача обеспечения стабилизации орбитальной системы в плоскости тангажа . . . . .	10
3. Моделирование основных динамических процессов, возникающих в гибкой связи при управлении ею, на имитационной динамической модели . . . . .	14
3.1. Система уравнений управления угловой стабилизацией станции в плоскости тангажа . . . . .	14
Заключение . . . . .	19
Литература . . . . .	19

Для заметок

---

Для заметок

---

Для заметок

---

Для заметок

---