

Синтез механизмов ориентации космического телескопа «Миллиметрон». 3. Синтез механизмов параллельной структуры для ориентации антенны космического телескопа

05, май 2013

DOI: 10.7463/0513.0571127

Артеменко Ю. Н., Глазунов В. А., Сильвестров Э. Е., Кореновский В. В.,
Демидов С. М.

УДК.519.6

Россия, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН). Астрокосмический центр

Россия, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН)

altishenko@yahoo.com

vaglznv@mail.ru

Введение

Работа является третьей в серии из четырех публикаций, посвященных синтезу механизмов ориентации космического телескопа «Миллиметрон» [1, 2].

В последние годы ведется большая работа по синтезу и анализу устройств параллельной структуры. Их первым применением были тренажеры для летчиков. В настоящее время эти устройства применяют в качестве технологических (рисунок 3.1а), манипулирующих, испытательных, измерительных, медицинских (рисунок 3.1б), а также в качестве устройств, для ориентации антенн (рисунок 3.1в). Имеются проекты использования данных устройств для космических применений (рисунок 3.2) [3].

На рисунке 3.2 представлены механизмы, предназначенные для использования в космосе и имеющие параллельно последовательную структуру. Это могут быть обычные (рисунок 3.2а) или сотовые (рисунок 3.2б) конструкции. Каждый модуль может иметь по шесть степеней свободы (рисунок 3.2в). Следует отметить, что в Институте машиноведения

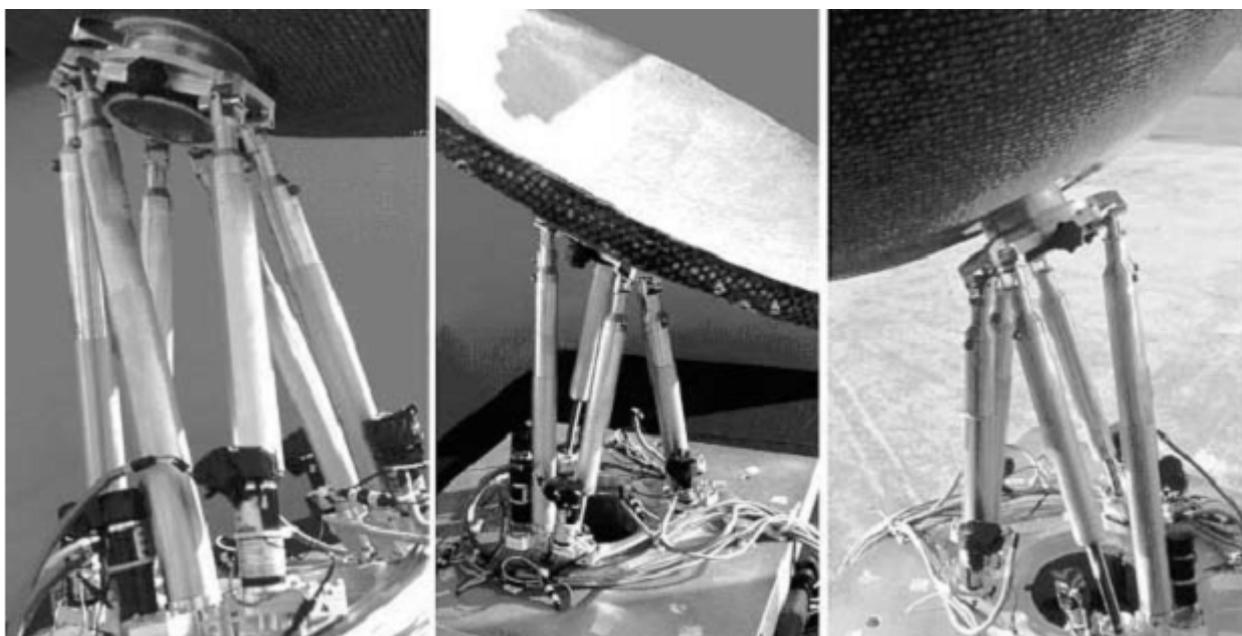
им. А.А. Благонравова РАН еще в 80-х годах был создан подобный механизм с 18 степенями свободы («Рука Колисора»)



а)

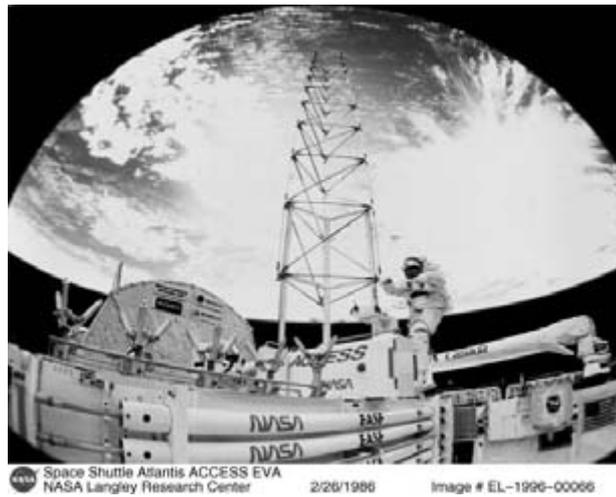


б)

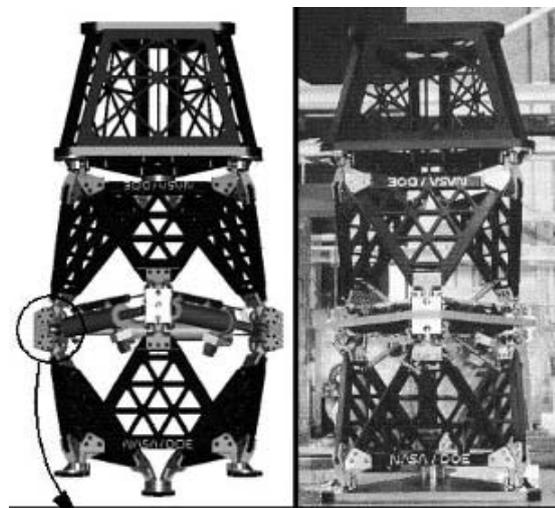


в)

Рисунок 3.1 – Примеры устройств параллельной структуры для технологических (а), манипулирующих, испытательных, измерительных и медицинских (б) применений, а также для ориентации антенн (в)



а)



б)



в)

Рисунок 3.2 – Примеры устройств параллельной структуры для космических применений

Механизмы параллельной структуры характеризуются высокими функциональными свойствами ввиду их высокой точности, грузоподъемности, наличия возможности установить приводы на основании [3, 4]. Эти свойства весьма важны для задачи разработки системы наведения космического радиотелескопа.

В Институте машиноведения ранее разработаны схемы механизмов параллельной структуры для решения широко круга технических задач [5-7], в частности, для манипулирования моделями аэрокосмических систем в аэродинамической трубе, для сверхточного манипулирования в вакууме (рисунок 3.3), для технологических и измерительных систем (рисунок 3.4).



Рисунок 3.3 – Механизм параллельной структуры для сверхточного манипулирования в вакууме



Рисунок 3.4 – Механизм параллельной структуры для технологических и измерительных систем

Важные аспекты анализа данных систем рассмотрены рядом авторов в работах [9-13].

3.1. Методика структурного синтеза параллельных механизмов

Приведем методику структурного синтеза параллельных механизмов на примере механизма с четырьмя степенями свободы (рисунок 3.5), а затем обобщим ее на механизмы с пятью и шестью степенями свободы.

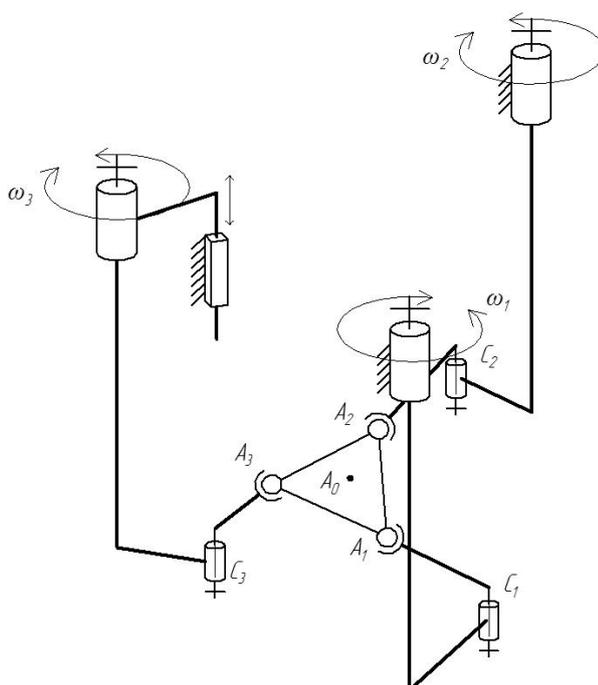


Рисунок 3.5 – Структура механизма четырьмя степенями свободы

В рассматриваемом механизме вращательные кинематические пары, связывающие промежуточные звенья с выходным звеном (его центр обозначен A_0), дают статическую неопределимость механизму, превращая его в ферму. Поэтому они заменены на сферические A_1, A_2, A_3 . Кроме того, применены вращательные кинематические пары C_1, C_2, C_3 . Вращательные движения начальных звеньев данного механизма с угловыми скоростями $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ обеспечиваются соответствующими двигателями. Определим число степеней свободы механизма по формуле Сомова-Малышева:

$$W = 6(n - 1) - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1 = 6 \cdot 8 - 5 \cdot 7 - 3 \cdot 3 = 4.$$

Здесь p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 - числа одно-, двух-,...,пяти-подвижных кинематических пар механизма, соответственно.

Таким образом, мы получили механизм с четырьмя степенями свободы, у которого при отсутствии избыточных связей имеется три вращательных движения и одно поступательное.

Для того, чтобы расположить все приводы механизма на основании (включая вращательные), мы вводим еще два элемента в каждую кинематическую цепь - зубчатое зацепление и поступательную кинематическую пару, сопряженную с одним из зубчатых колес (рисунок 3.6).

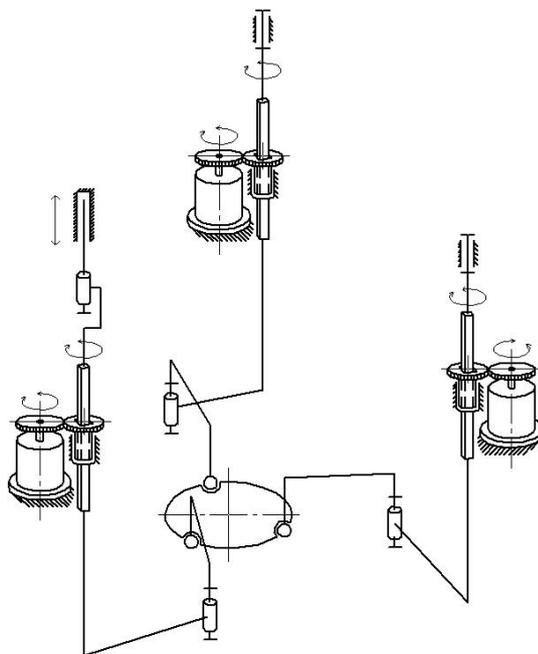


Рисунок 3.6 – Модификация механизма с четырьмя степенями свободы

При проектировании схем механизмов с пятью и шестью степенями свободы можно поступить аналогичным образом.

3.2. Поворот антенны телескопа с помощью механизма параллельной структуры

Рассмотрим задачу по осуществлению поворота антенны телескопа с обеспечением сохранения неизменным положения его центра масс. Для определенности этот поворот будем рассматривать против хода часовой стрелки.

Для поворота фокальной оси антенны телескопа из вертикального положения в горизонтальное, одно из звеньев механизма, жестко связанное с антенной, должно иметь возможность совершать плоское движение в вертикальной плоскости. Это означает, что данное выходное (функциональное) звено механизма должно обладать тремя степенями свободы. То есть, вполне достаточно, чтобы две концевые точки (два шарнира) функционального звена или один из его шарниров при постоянном положении другого шарнира, могли бы изменять свои координаты в плоскости. Таким образом, достаточно использовать плоский механизм с тремя степенями свободы. В соответствии со структурной формулой наиболее простым механизмом этого типа является плоский шестизвенный механизм с тремя степенями свободы (рисунок 3.7).

Рассмотрим задачу синтеза плоского шестизвенного механизма с тремя степенями свободы для осуществления поворота его выходного звена на заданный угол. Ограничимся механизмами с вращательными парами.

Традиционно синтез механизмов проводится в несколько этапов, первым из которых является структурный синтез [14], то есть определение всех возможных схем плоских рычажных шестизвенных механизмов с тремя степенями свободы, пригодных к использованию их по заданному функциональному назначению.

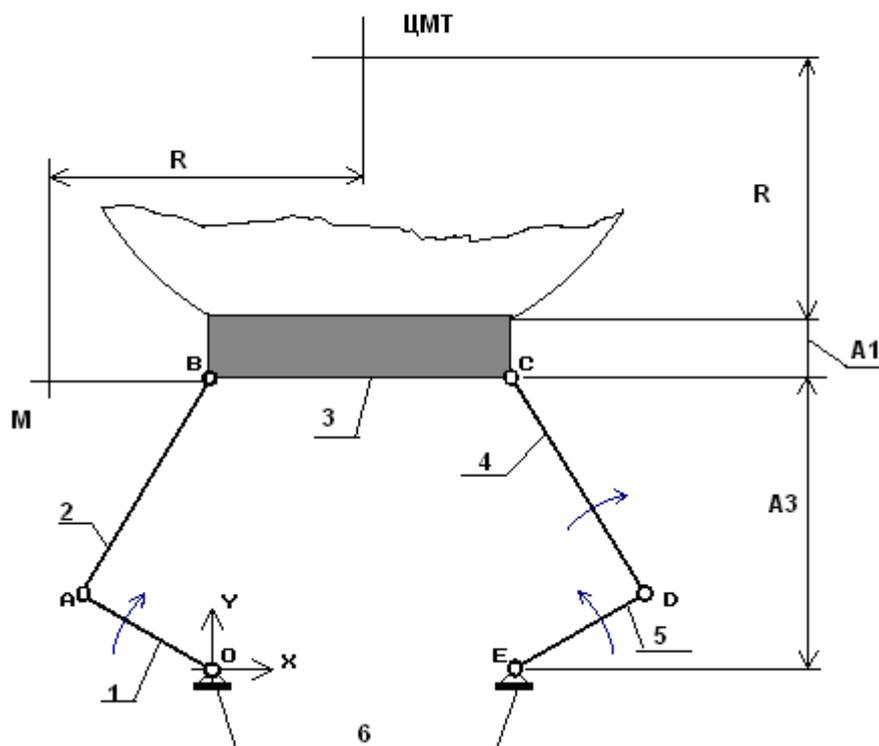


Рисунок 3.7 - Плоский шестизвенный механизм с тремя степенями свободы: ЦМТ – цент масс телескопа; O, E - шарниры стоек

Все плоские шестизвенные механизмы с тремя степенями свободы и одноподвижными вращательными парами можно получить из анализа всех шестизвенных замкнутых кинематических цепей. Ограничимся только двухпорными кинематическими цепями. Таких цепей, состоящих из пяти подвижных звеньев ($n=5$) и шести вращательных пар ($p_1=6$), можно образовать всего две [14]. Эти шестизвенные замкнутые кинематические цепи могут рассматриваться в качестве “кандидатов” для синтеза шестизвенных механизмов с тремя степенями свободы.

Шестизвенные механизмы с тремя степенями свободы могут быть построены либо на основе одного кривошипа, одного коромысла и одного двойного маятника, либо на основе одного тройного маятника (рисунок 3.7). В первом случае к ведущему звену 1 и двойному маятнику с ведущими звеньями 5 и 4 присоединена структурная группа Ассур

второго класса первого вида со звеньями 2 и 3. Во втором случае к тройному маятнику, состоящему из ведущих звеньев 5, 4 и 3, присоединена структурная группа Ассура со звеньями 2 и 1.

Как следует из рисунка 3.7, звено 3 представляет собой совокупность криоконтейнера, имеющего вид прямоугольника с основанием BC и высотой A_1 , и антенны телескопа радиусом R . На рисунке 3.7 также указан размер A_3 , определяющий горизонтальное положение звена 3. Величина A_3 выбирается из конструктивных соображений.

Для определения координат центров шарниров механизма введем систему координат Oxy с началом в центре шарнира O на левой опоре (рисунок 3.8).

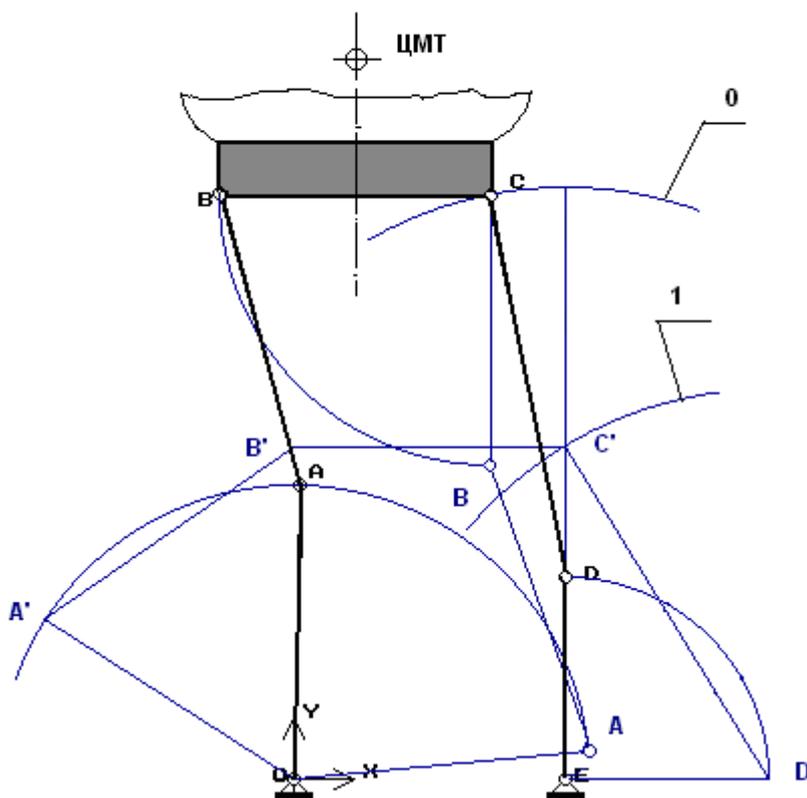


Рисунок 3.8 – Расчетная схема плоского шестизвенного механизма с тремя степенями свободы

На втором этапе синтеза необходимо по заданным условиям определить размеры звеньев механизма, предназначенного для поворота звена 3 из его верхнего крайнего (горизонтального) положения в крайнее нижнее (вертикальное).

Для выполнения основного назначения рассматриваемый механизм должен удовлетворять следующим условиям.

1) Для осуществления свободного поворота антенны телескопа, в крайнем вертикальном положении выходного звена 3 должен быть некоторый зазор Δ между опорной линией OE и точкой M (рисунки 3.7, 3.8). Другими словами, траектория точки M не должна пересекаться с опорной линией OE .

2) Движения звеньев рассматриваемого механизма должны происходить выше опорной линии OE , то есть координаты центров шарниров A и D должны быть только положительными ($y_A > 0$, $y_D > 0$).

Остановимся на схеме механизма, представленной на рисунке 3.8, для которой двигатели ведущих звеньев могут быть установлены на основании.

Из конструктивных соображений положение механизма определяется следующими величинами: координаты $y_C = y_B = A_3$ центров шарниров B , C ; расстояние между точками O, E , т.е. длина $l_3 = l_6$ звена 6; расстояние между точками B, C , т.е. длина l_3 выходного звена 3; максимальный угол поворота звена 3, равный 90° ; параметры A_1, R .

Задача синтеза схемы механизма состоит в том, чтобы на основе исходного положения механизма, определяемого величинами

$$y_c = y_b = A_3,$$

построить его некоторое другое допустимое положение при иных значениях y_B, y_C . Назовем это положение «рабочим».

Как для исходного, так и для рабочего положений механизма необходимо определить длины звеньев l_i и углы их поворота φ_i ; $i = 1, 2, 4, 5$. С этой целью структурную цепь механизма разбиваем на две части: цепь $EDCE$, представляющую собой механизм двойного маятника; цепь $OABCO$, которая является двухкоромысловым механизмом.

3.2.1. Механизм двойного маятника

Рассмотрим рабочее положение механизма в тот момент, когда осуществлен поворот звена 3 на максимальный угол в 90° . Тогда для выполнения условия 1 координата центра шарнира C определяется из соотношения

$$y_C = -l_3 / 2 + R + \Delta, \quad (3.1)$$

где $\Delta = 0,02 - 0,05$ м.

С другой стороны, в этом же положении звена 3 координату y_C можно представить в виде

$$y_C = l_5 \sin \varphi_5 + l_4 \sin \varphi_4, \quad (3.2)$$

откуда следует, что

$$\varphi_4 = \arcsin((y_C - l_5 \sin \varphi_5) / l_4). \quad (3.2a)$$

Из (3.2) видно, что положение центра шарнира C двойного маятника определяется длинами ведущих звеньев l_4 и l_5 , а также обобщенными координатами φ_4 , φ_5 . Для нахождения этих четырех неизвестных следует рассмотреть заданное положение двойного маятника при $y_C = A_3$. Поскольку число неизвестных параметров превышает число уравнений, необходимо задаться некоторыми размерами. В нашем случае удобно задавать длину ведущего звена l_5 и угол его поворота φ_5 .

Для рационального выбора длин звеньев l_5 , l_4 необходимо определить положение центра шарнира C с координатой, удовлетворяющей соотношению (3.1). С этой целью при различных

значениях величины l_5 осуществляем построение траекторий точки C . При этом величина l_4 примет максимальное значение, определяемое равенством

$$l_4 = \sqrt{l_5^2 + A_3^2}, \quad (3.3)$$

при $\varphi_5 = 0$.

Траектория точки C получается в виде дуги окружности радиуса $DC = l_4$ с центром в точке D и располагается на максимальном удалении от точки E , когда ведущее звено 5 занимает положение, соответствующее $\varphi_5 = 90^\circ$. Серия из полученных таким образом траекторий точки C для нескольких величин l_5 позволяет выбрать искомое положение точки C . Тем самым удается определить значения длин звеньев l_5, l_4 , а также соответствующие углы ведущих звеньев $\varphi_5 = 90, \varphi_4$, при которых координата центра шарнира C для искомого рабочего положения механизма будет удовлетворять соотношению (3.1). Следует обратить внимание на то, что значение величины φ_4 , полученное из графического построения, можно уточнить по формуле (3.2а).

3.2.2. Двухкоромысловый механизм

Перейдем к рассмотрению двухкоромыслового механизма с двумя опорными точками O и C . В начальном рабочем положении коромысло 3 находится в горизонтальном положении и $y_B = y_C$. Кроме того, известны длина выходного звена l_3 и максимальный угол его поворота в 90° . Из графического построения находим межосевые расстояния l_{OC}, l_{OB} . Необходимо определить длины звеньев l_1, l_2 , а также значения углов поворота $\varphi_{1O}, \varphi_{1K}$ ведущего звена 1 в начальном и конечном рабочих положениях, соответствующих горизонтальному и вертикальному положениям выходного звена 3.

Следует обратить внимание на то, что в двухкоромысловом механизме точка B движется по дуге окружности радиуса $CB = l_3$ с

неподвижным центром в точке C , причем точка B перемещается по ее нисходящей ветви траектории, находящейся в пределах от 180° до 270° по углу поворота звена 3. При этом точка A должна двигаться по дуге окружности радиуса $OA = l_1$ с центром в точке O также по ее нисходящей ветви траектории, находящейся в пределах от 90° до 0° по углу поворота ведущего звена 1.

Для определения неизвестных величин длин звеньев l_1 и l_2 следует рассмотреть двухкоромысловый механизм в двух крайних положениях звена 3.

Сначала рассматриваем вертикальное положение звена 3, в котором координата y_{B_k} точки B равна

$$y_{B_k} = y_C - l_3. \quad (3.4)$$

Для удовлетворения указанному выше условию 2, по которому точка A должна находиться выше опорной линии OE , должно выполняться равенство

$$l_2 = y_{B_k} - \Delta_2. \quad (3.5)$$

Из равенства (3.5) с учетом (3.4) определяем длину l_2 звена 2. При этом величину Δ_2 принимаем равной 0,05 - 0,10 м.

Далее, рассматривая механизм при горизонтальном положении звена 3, можно определить длину l_1 ведущего звена 1 из соотношения

$$l_1 = l_{OB} - l_2 + \Delta_1. \quad (3.6)$$

В выражении (3.6) величина Δ_1 выбирается в зависимости от значения абсциссы точки B . Если ее значение находится в отрицательной области, то полагаем $\Delta_1 = (0,05 - 0,15)$ м; в противном случае полагаем $\Delta_1 = 0$. В первом случае пересечение окружностей радиусов l_1 , l_2 , вычисленных по соотношениям (3.5) и (3.6), происходит в двух точках, и выбирается та из них, которая находится на нисходящей ветви

траектории точки A . Во втором случае указанные окружности имеют точку касания, принадлежащую нисходящей ветви траектории точки A .

Итак, определив длины звеньев l_1, l_2 и найдя точки пересечения окружностей радиусов $OA = l_1$ и $BA = l_2$ в крайних положениях звена 3 двухкоромыслового механизма, получим на нисходящей ветви траектории точки A соответствующие положения ведущего звена 1 и углы его поворота φ_{1_0} и φ_{1_K} .

В качестве примера на рисунке 3.8 построены планы рассматриваемого шестизвенного механизма с тремя степенями свободы для начального положения механизма, а также для его конечного рабочего положения, соответствующего повороту выходного звена 3 на угол, равный 90° . При этом принято, что $R=4,9$ м, $y_{C'} = y_{B'} = A_3=3,7$ м, $l_3 = l_6=3$ м, $l_{B'B''} = l_{C'C''} = A_1=0,7$ м.

В результате синтеза плоского шестизвенного механизма с тремя степенями свободы были получены следующие значения неизвестных величин:

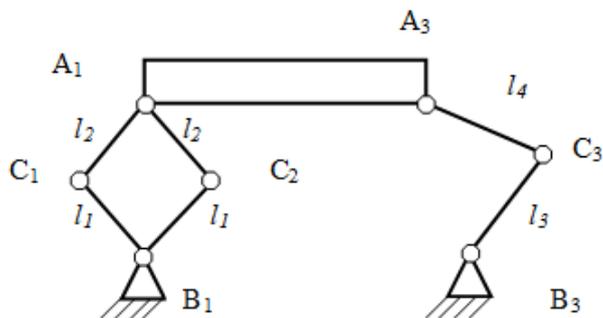
$$l_1=3,275 \text{ м}, \quad l_2=3,35 \text{ м}, \quad l_4=4,325 \text{ м}, \quad l_5=2,25 \text{ м}, \quad y_C=6,45 \text{ м},$$

$$\varphi_{1_0}=88^\circ, \quad \varphi_{1_K}=5,5^\circ, \quad \varphi_4=101^\circ, \quad \varphi_5=90^\circ.$$

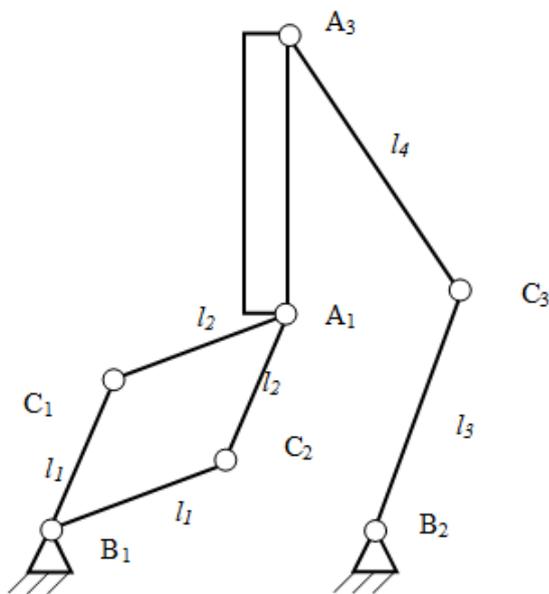
3.3. Сохранение неподвижным центра масс

Как отмечалось выше, для поворота антенны телескопа относительно космического аппарата целесообразно использовать механизм параллельной структуры с тремя степенями свободы (рисунок 3.9а). Механизм состоит из основания, на котором расположены точки B_1, B_2, B_3 (точки B_1, B_2 совпадают), подвижной платформы, на которой расположены точки A_1, A_2, A_3 (точки A_1, A_2 совпадают), а также трех кинематических цепей $A_i, B_i, C_i, i = 1, 2, 3$. После поворота механизм занимает иное положение (рисунок 3.9б).

Конструкция должна позволять поворот антенн без соприкосновения с элементами механизма (рисунок 3.10). Использование такого механизма позволит осуществлять поворот антенны с сохранением положения центра масс всей системы.



а)



б)

Рисунок 3.9 – Структура параллельного механизма с тремя степенями свободы

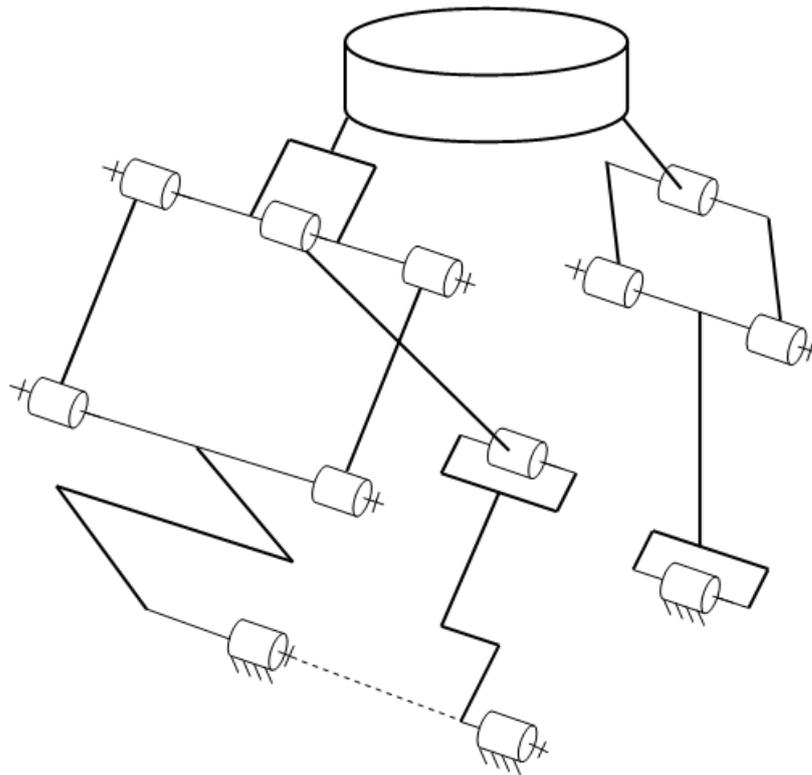


Рисунок 3.10 – Механизм параллельной структуры тремя степенями свободы

Выразим координаты точек звеньев механизма при некотором положении выходного звена (платформы). Координаты точки A_i находим с помощью произведения матриц

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_{Op} \\ 0 & 1 & 0 & Y_{Op} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{A_i} \\ Y_{A_i} \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Здесь X_{Op}, Y_{Op} - координаты центра платформы, φ - угол поворота платформы, X_{A_i}, Y_{A_i} - координаты точки A_i в подвижной системе координат платформы.

Используя указанное произведение матриц, получим векторы $X_{A_i,b}, Y_{A_i,b}$, которые представляют собой координаты точки A_i в неподвижной системе координат:

$$\begin{pmatrix} X_{Op} + X_{A_i} \cdot \cos \varphi - Y_{A_i} \cdot \sin \varphi \\ Y_{Op} + X_{A_i} \cdot \sin \varphi + Y_{A_i} \cdot \cos \varphi \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{A_i b} \\ Y_{A_i b} \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Для решения задачи необходимо учесть положения входных звеньев, описываемых углами $\varphi_{1,1}, \varphi_{2,1}, \varphi_{3,1}$, а также координаты центра платформы A_1, A_2, A_3 и угол поворота платформы вокруг этого центра.

Запишем координаты точки C_i , выразив их через угол поворота входного звена:

$$\begin{aligned} X_{C_i} &= X_{B_i} + l_{i,1} \cos \varphi_{i,1}; \\ Y_{C_i} &= Y_{B_i} + l_{i,1} \sin \varphi_{i,1}. \end{aligned}$$

Из этих выражений можно найти величины

$$X_{B_i C_i} = l_{i,1} \cos \varphi_{i,1}, \quad Y_{B_i C_i} = l_{i,1} \sin \varphi_{i,1}.$$

Здесь $\varphi_{i,1}$ - угол поворота входного звена (обобщенная координата).

Выразим длину звена

$$(X_{A_i} - X_{C_i})^2 + (Y_{A_i} - Y_{C_i})^2 = \ell_i^2$$

и координаты центра масс по оси X и оси Y

$$\begin{aligned} X_C &= \frac{(X_{Op} M + X_{A_1 C_1} m_{2,2} + X_{A_1 C_1} m_{1,2} + X_{B_1 C_2} m_{2,1} + X_{A_1 C_1} m_{2,2} + X_{A_3 C_2} m_{3,1} + X_{B_3 C_3} m_{3,2})}{M + m_{1,1} + m_{1,2} + m_{2,1} + m_{2,2} + m_{3,1} + m_{3,2}}, \\ Y_C &= \frac{(Y_{Op} M + Y_{A_1 C_1} m_{2,2} + Y_{A_1 C_1} m_{1,2} + Y_{B_1 C_2} m_{2,1} + Y_{A_1 C_1} m_{2,2} + Y_{A_3 C_3} m_{3,1} + Y_{B_3 C_3} m_{3,2})}{M + m_{1,1} + m_{1,2} + m_{2,1} + m_{2,2} + m_{3,1} + m_{3,2}}. \end{aligned}$$

Здесь M - масса платформы; $X_{A_i C_i}, Y_{A_i C_i}$ - координаты центра звена AC ; $X_{B_i C_i}, Y_{B_i C_i}$ - координаты центра звена BC ; m_i - масса звеньев.

Пусть заданы координаты точки B , длины и массы звеньев, координаты центра масс антенны. Алгоритм определения координат центра масс антенны при ее повороте имеет следующий вид.

1) Находим координаты точек A_1 и A_2

$$X_A = (X + X_{A_1P} \cos(\varphi) - Y_{A_1P} \sin(\varphi)),$$

$$Y_A = (Y + X_{A_1P} \sin(\varphi) + Y_{A_1P} \cos(\varphi)).$$

2) Определяем расстояние от точки A до точки B

$$L_{AB} = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2}.$$

3) Вычисляем координаты звеньев AC и BC

$$X_{A_iC_i} = X_{A_i} + \left(\frac{X_{B_i}}{2} + \frac{l_{1,1}}{2} \right) \cos(\varphi_{i,1}), \quad Y_{A_iC_i} = Y_{A_i} + \left(\frac{Y_{B_i}}{2} + \frac{l_{1,1}}{2} \right) \sin(\varphi_{i,1}),$$

$$X_{B_iC_i} = \frac{l_{1,1}}{2} \cos(\varphi_{i,1}), \quad Y_{B_iC_i} = \frac{l_{1,1}}{2} \sin(\varphi_{i,1}).$$

4) По приведенным выше формулам находим координаты центра масс платформы.

Пример. Пусть параметры механизма имеют следующие значения: $l_{1,3}=3$ м; $l_{2,3}=3$ м; $X_{A_1P}=-1,5$ м; $Y_{A_1P}=0$; $X_{A_3P}=1,5$ м; $Y_{A_3P}=0$ м; $X_{B_1}=-1,5$ м; $Y_{B_1}=0$; $X_{B_3}=1,5$ м; $Y_{B_3}=0$; $M=100$ кг; $m_{1,1}=5$ кг; $m_{1,2}=5$ кг; $m_{2,1}=5$ кг; $m_{2,2}=5$ кг; $m_{3,1}=10$ кг; $m_{3,2}=10$ кг; $\varphi=\pi/6$. Зададим координаты положения выходного звена $X=0$; $Y=3$ м.

В ходе вычислений по приведенному выше алгоритму были получены координаты центра масс платформы $X_C=0,063$ м; $Y_C=2,83$ м. Выполним коррекцию этих результатов по следующей схеме:

- полученное значение координаты X_C вычитаем из заданного значения этой координаты;

- повторяем указанную процедуру до тех пор, пока не будет получена требуемая точность.

В случае, если эта точность составляет 10^{-6} м, коррекция дает значения координат центра масс $X_C=4,062 \cdot 10^{-6}$ м; $Y_C=2,83$ м.

Заключение

В работе предложен метод синтеза плоских шестизвенных механизмов с тремя степенями свободы с учетом заданных условий, связанных с ориентацией антенны космического телескопа. Особенностью предлагаемого подхода при синтезе таких механизмов является возможность разложить их на два более простых механизма: механизм двойного маятника и двухкоромысловый механизм. Первый механизм с двумя степенями свободы служит для поддержания в постоянном положении точки C , вокруг которой вторым механизмом осуществляется поворот выходного звена на необходимый угол. При этом определяются все неизвестные размеры звеньев и углы их поворота, а также передаточная функция, т.е. зависимость угла поворота выходного звена от угла поворота ведущего звена двухкоромыслового механизма.

Кроме того, рассмотрена задача сохранения неизменного положения центра масс антенны телескопа при изменении ее ориентации.

Список литературы

1. Артеменко Ю.Н. Синтез механизмов ориентации космического телескопа «Миллиметрон». 1. Возможности механизмов параллельной структуры для ориентации космического телескопа «Миллиметрон» // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 1. DOI: [10.7463/0113.0534292](https://doi.org/10.7463/0113.0534292)
2. Артеменко Ю.Н., Карпенко А.П., Пащенко В.Н., Мартынюк В.А., Волкоморов С.В., Темерев К.А., Шарыгин А.В.. Синтез механизмов ориентации космического телескопа «Миллиметрон». 2. Синтез и оптимизация многосекционного манипулятора параллельной структуры для управления ориентацией космического телескопа «Миллиметрон» // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 3. DOI: [10.7463/0413.0554360](https://doi.org/10.7463/0413.0554360)
3. Merlet J. P. Parallel robots. Kluwer Academic Publishers, 2000. 372 p.

4. Глазунов В.А., Колискор А.Ш., Крайнев А.Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. М.: Наука, 1991. 96 с.
5. Крайнев А.Ф., Глазунов В.А., Муницына Н.В. Механизмы перемещения заготовки и инструмента для станка нетрадиционной компоновки // СТИН Станки Инструмент. 1995. № 7. С. 10-13.
6. Крайнев А.Ф., Ковалев Л.К., Васецкий Б.Г., Глазунов В.А. Разработка установок для лазерной резки на основе механизмов параллельной структуры // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1994. № 1. С. 84-93.
7. Глазунов В.А., Муницына Н.В. Оптимальное проектирование манипуляторов параллельной структуры для агрессивных сред текстильного производства // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. 1994. № 5. С. 85-89.
8. Крайнев А.Ф., Глазунов В.А., Муницына Н.В., Рашоян Г.В. Выбор формы упругих элементов кинематических пар механизмов параллельной структуры // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1997. № 4. С. 26-35.
9. Ганиев Р.Ф., Кононенко В.О. Колебания твердых тел. М.: Наука, 1976. 432 с.
10. Акопян А.М., Винницкий Е.Я., Крейнин Г.В. К задаче динамического синтеза платформенного механизма с многокоординатным приводом // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1990. № 6. С. 78-83.
11. Лунев В.В., Мисюрин С.Ю. Решение задач о положениях механизма методом многоугольников Ньютона // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1994. № 2. С. 26-31.
12. Диментберг Ф.М. Движение твердого тела, осуществляемое действием на его точки тяг-толкателей // Машиноведение. 1988. № 5. С. 63-69.
13. Левитский Н.И. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1979. 576 с.
14. Добровольский В.В. Теория механизмов с двумя и более степенями свободы // Труды Станкоинструментального института. 1939. Т. 4. С. 41-76.

Synthesis of orientation mechanisms for the space observatory “Millimetron”. 3. Synthesis of parallel-structure mechanisms for orientation of the space observatory’s antenna

05, May 2013

DOI: 10.7463/0513.0571127

Artemenko Yu.N., Glazunov V.A., Sil'vestrov E.E., Korenovskii V.V.,
Demidov S.M.

Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences (LPI RAS) . Astro Space Center.

Federal budget - funded research Institute of Machines Science named after A.A.Blagonravov
of the Russian Academy of Sciences
altishenko@yahoo.com
vaglznv@mail.ru

This is the third paper in the series of four works dedicated to design of parallel mechanisms for orientation of the space observatory “Millimetron”». In this work, a method of synthesis of plain six-link mechanisms with three degrees of freedom was proposed. This method takes into account restrictions imposed by requirements to orientation of the space observatory’s antenna. A distinctive feature of the proposed method is decomposition of the synthesized mechanism into two more simple mechanisms – a double pendulum mechanism and a two-beam mechanism. The first mechanism has two degrees of freedom and is designed for maintaining a point in a constant position; the second mechanism’s output link rotates around the first one by a specific angle. All unknown sizes of the mechanism’s links and turning angles were determined in this work. The authors defined a dependence of the turning angle of the output link on the turning angle of the input link of the two-beam mechanism that is a transfer function. Besides, the problem of maintaining an invariable position of the center of mass of the space observatory’s antenna was considered when changing its orientation.

Publications with keywords: [radio telescope](#), [space observatory «Millimetron»](#), [parallel mechanism](#), [parallel manipulator](#)

Publications with words: [radio telescope](#), [space observatory «Millimetron»](#), [parallel mechanism](#), [parallel manipulator](#)

References

1. Artemenko Iu.N. Sintez mekhanizmov orientatsii kosmicheskogo teleskopa «Millimetron». 1. Vozmozhnosti mekhanizmov parallel'noi struktury dlia orientatsii kosmicheskogo teleskopa «Millimetron» [Synthesis of orientation mechanisms for the space observatory «Millimetron». 1. Capabilities of parallel mechanisms for orientation of the space observatory «Millimetron»]. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana*

[Science and Education of the Bauman MSTU], 2013, no. 1. DOI:

[10.7463/0113.0534292](https://doi.org/10.7463/0113.0534292)

2. Artemenko Iu.N., Karpenko A.P., Pashchenko V.N., Martyniuk V.A., Volkomorov S.V., Temerev K.A., Sharygin A.V.. Sintez mekhanizmov orientatsii kosmicheskogo teleskopa «Millimetron». 2. Sintez i optimizatsiia mnogosektsionnogo manipulatora parallel'noi struktury dlia upravleniia orientatsiei kosmicheskogo teleskopa «Millimetron» [Synthesis of orientation mechanisms for the space observatory “Millimetron”. 2. Synthesis and optimization of a parallel multi-sectional manipulator for orientation of the space observatory “Millimetron”]. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2013, no. 3. DOI: [10.7463/0413.0554360](https://doi.org/10.7463/0413.0554360)
3. Merlet J.P. *Parallel robots*. Kluwer Academic Publishers, 2000. 372 p.
4. Glazunov V.A., Koliskor A.Sh., Krainev A.F. *Prostranstvennye mekhanizmy parallel'noi struktury* [Spatial mechanisms of the parallel structure]. Moscow, Nauka, 1991. 96 p.
5. Krainev A.F., Glazunov V.A., Munitsyna N.V. Mekhanizmy peremeshcheniia zagotovki i instrumenta dlia stanka netraditsionnoi komponovki [Mechanisms of movement of the workpiece and the tool for the machine with unconventional configuration]. *STIN Stanki Instrument*, 1995, no. 7, pp. 10-13.
6. Krainev A.F., Kovalev L.K., Vasetskii B.G., Glazunov V.A. Razrabotka ustanovok dlia lazernoi rezki na osnove mekhanizmov parallel'noi struktury [Development of laser cutting systems on the basis of the mechanisms of parallel structures]. *Problemy mashinostroeniia i nadezhnosti mashin*, 1994, no. 1, pp. 84-93.
7. Glazunov V.A., Munitsyna N.V. Optimal'noe proektirovanie manipulatorov parallel'noi struktury dlia agressivnykh sred tekstil'nogo proizvodstva [Optimal design of manipulators of the parallel structure for aggressive media of textile production]. *Izvestiia VUZov. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti*, 1994, no. 5, pp. 85-89.
8. Krainev A.F., Glazunov V.A., Munitsyna N.V., Rashoian G.V. Vybór formy uprugikh elementov kinematicheskikh par mekhanizmov parallel'noi struktury [Choice of form of elastic elements of kinematic pairs of mechanisms of parallel structures]. *Problemy mashinostroeniia i nadezhnosti mashin*, 1997, no. 4, pp. 26-35.
9. Ganiev R.F., Kononenko V.O. *Kolebaniia tverdykh tel* [Oscillations of solids]. Moscow, Nauka, 1976. 432 p.
10. Akopian A.M., Vinnitskii E.Ia., Kreinin G.V. K zadache dinamicheskogo sinteza platformennogo mekhanizma s mnogokoordinatnym privodom [Ehe problem of the dynamic synthesis of platform mechanism with multi-coordinate drive]. *Problemy mashinostroeniia i nadezhnosti mashin*, 1990, no. 6, pp. 78-83.
11. Lunev V.V., Misiurin S.Iu. Reshenie zadach o polozeniiakh mekhanizma metodom mnogougol'nikov N'iutona [Solution of tasks about the provisions of the mechanism by the method of Newton polygons]. *Problemy mashinostroeniia i nadezhnosti mashin*, 1994, no. 2, pp. 26-31.
12. Dimentberg F.M. Dvizhenie tverdogo tela, osushchestvliamoe deistviem na ego tochki tiag-tolkatelei [Motion of a rigid body under the action of pull-pushers on its points]. *Mashinovedenie*, 1988, no. 5, pp. 63-69.
13. Levitskii N.I. *Teoriia mekhanizmov i mashin* [Theory of mechanisms and machines]. Moscow, Nauka, 1979. 576 p.
14. Dobrovol'skii V.V. Teoriia mekhanizmov s dvumia i bolee stepeniami svobody [Theory of mechanisms with two or more degrees of freedom]. *Trudy Stankoinstrumental'nogo instituta* [Proceedings of the Machine Tool Institute], 1939, vol. 4, pp. 41-76.