

УДК 621.01

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ МАНИПУЛИРОВАНИЯ АНТЕННАМИ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ

© Сергей Михайлович Демидов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт машиноведения им. А.А.Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия

chipd@rambler.ru

Аннотация. В данной работе рассматриваются манипуляционные механизмы структуры, предназначенные для перспективы космических телескопов в которых антенна телескопа должна перемещаться относительно космического аппарата. При этом преимущества механизмов параллельной структуры, определяемые, тем что они воспринимают нагрузку как пространственные фермы должны обеспечить требуемую точность.

Ключевые слова: Космический телескоп, точка Лагранжа, механизм параллельной структуры, динамика, колебания

Working out and the analysis of mechanisms of the parallel structure intended for a manipulation by aerials of space telescopes

S.M. Demidov

Institute at mechanical engineering of A.A. Blagonravova, Moscow, Russia

Abstract. In the given work it is considered the handling mechanisms of structure intended for prospect of space telescopes in which aerial of a telescope should move concerning the space vehicle. Thus advantages of mechanisms of the parallel structure, defined by that that they perceive loading as spatial farms should provide demanded accuracy.

Key words: Space telescope, point Lagrange, the mechanism of parallel structure, dynamics, vibration.

В работе рассмотрены динамические свойства механизмов параллельной структуры, связанные с их нелинейными колебаниями. При этом использованы нелинеаризованные уравнения динамики. Показано наличие взаимного влияния различных степеней свободы

Развитие многих фундаментальных наук, в том числе космической астрономии требует создания новых высокоэффективных средств получения научных данных. В настоящее время широко известны космические телескопы «Хаббл», «Гершель», «Кепплер» и др., с помощью которых получены многие важные научные результаты, касающиеся устройства Вселенной. Однако, в данных телескопах перемещения антенны относительно базовой платформы не предусмотрены, хотя это могло бы повысить их функциональные возможности. Имеют место лишь устройства для гашения взаимных колебаний.

В телескопах нового поколения планируется устанавливать робототехнические системы для перемещения антенны. Это очень сложная задача ввиду наличия температур, близких к абсолютному нулю, требуемой высокой точности позиционирования, кроме того, следует учесть и упомянутую необходимость гашения взаимных колебаний.

В настоящее время идут работы по созданию космического радиотелескопа нового поколения «Миллиметрон», который должен функционировать на удалении 1,5 млн км от Земли в одной из точек Лагранжа. (Рис. 1).

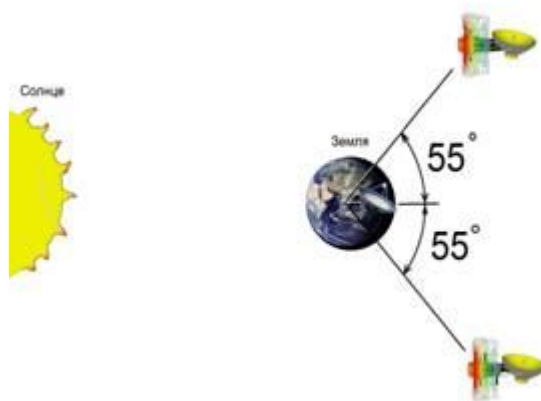


Рис. 1.

Одной из важнейших проблем при создании космической обсерватории «Миллиметр» является задача наведения раскрываемого телескопа диаметром 10-12 м. с точностью до 0,3-0,1 угл.сек., осложняющаяся не жесткой гантелеобразной конструкцией космического аппарата с постоянно ориентированными на Солнце радиационными экранами для защиты телескопа от солнечного нагрева (Рис. 2).

В данной установке предполагается применить специальное многофункциональное устройство – манипулятор наведения, представляющий собой механизм параллельной структуры.

Использование манипулятора наведения должно обеспечить: выдвижение телескопа из транспортного положения в рабочее; наведение телескопа на любой пространственный угол в полусфере, ограниченной экранами системы радиационного охлаждения телескопа; сохранение неизменными (или почти неизменными) положений центров масс телескопа и космического аппарата при наведении телескопа; ориентацию космического аппарата; снижение стабилизационных колебаний телескопа; разгрузку двигателей – маховиков космического аппарата и другие задачи.

В результате предполагаемое устройство должно преобразоваться в трансформируемый многофункциональный космический робот – манипулятор параллельной структуры для обеспечения навигационных задач орбитальной астрофизической обсерватории.

Данные системы характеризуются весьма высокими функциональными свойствами ввиду их высокой точности, грузоподъемности, наличия возможности установить приводы на основании [1, 2]. Эти качества весьма важны для указанной задачи разработки двигательных систем для космических телескопов.

В Институте машиноведения им. А.А. Благонравова РАН ранее были разработаны конкретные схемы для решения широко круга технических задач, в частности для манипулирования моделями аэрокосмических систем в аэродинамической трубе, для сверхточного манипулирования в вакууме, для технологических, и измерительных систем [3-6]. Важные аспекты анализа данных систем были рассмотрены рядом авторов [7-11]. На этой основе могут быть созданы технические решения проблемы манипулирования элементами космических телескопов.

Для взаимного поворота антенны телескопа относительно космического аппарата целесообразно применить механизм параллельно структуры с тремя степенями свободы (Рис. 2).

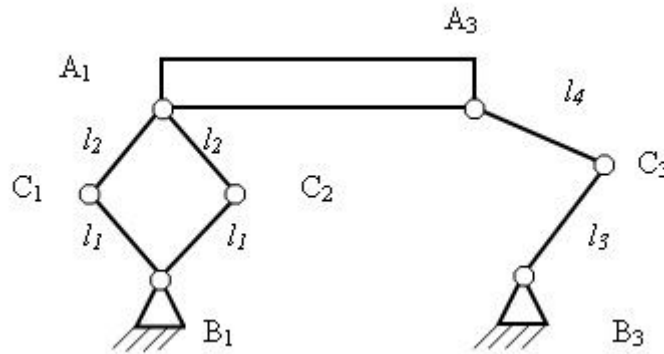


Рис. 2.

Механизм состоит из основания, на котором расположены точки B_1 B_2 B_3 (точки B_1 и B_2 совпадают), подвижной платформы, на которой расположены точки A_1 A_2 A_3 (точки A_1 и A_2 совпадают), а также трех кинематических цепей $A_i B_i C_i$ ($i=1,2,3$).

Конструкция шарниров должна позволять поворот зеркала без соприкосновения с элементами механизма (Рис. 3).

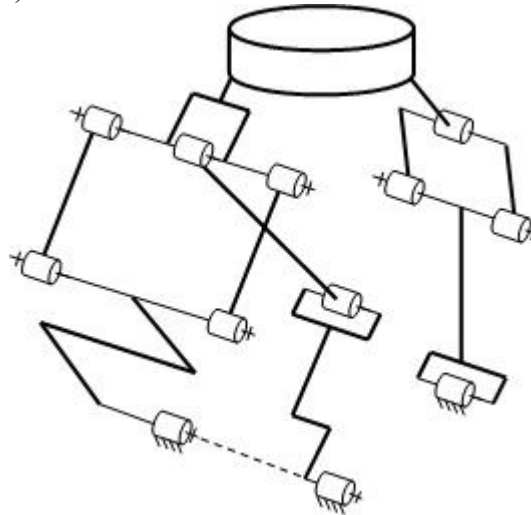


Рис. 3.

Использование такого механизма позволит осуществлять поворот антенны с сохранением положения центра масс всей системы. Рассмотрим динамические свойства механизма.

Механизмы параллельной структуры обладают повышенными показателями по точности и грузоподъемности, однако эти устройства имеют недостатки, одним из которых является взаимовлияние приводов. Это может привести к усложнению системы управления и затем к уменьшению точности. Взаимовлияние проявляется при исследовании колебательных процессов. Колебания по одной координате вызывают изменение колебаний по другим координат, что имеет место в нелинейных колебательных системах. При этом нелинейность определяется структурой и геометрией механизма. Эти процессы малоизучены в имеющейся литературе, хотя они весьма важны для анализа функциональных возможности данных устройств. Динамическому анализу колебаний механизмов параллельной структуры с двумя степенями свободы и посвящена настоящая работа.

Для анализа колебательных свойств будем использовать нелинеаризованные уравнения динамики, что позволяет выявить нелинейные свойства колебательной системы. Подобная задача рассматривалась с точки зрения колебаний твердых тел [3], однако в отличие от указанной публикации, где используется приближенный аналитический подход, при котором восстанавливающие силы, обобщенные и абсолютные координаты

представляются в виде рядов, в данной работе приводятся результаты численного решения исходных уравнений.

Примем, что массой обладает лишь выходное звено (платформа), при этом учитываются геометрическая нелинейность системы, связанная с положением кинематических цепей. Будут рассмотрены механизмы с двумя степенями свободы, однако этот подход в дальнейшем можно использовать для более сложных устройств данного класса [4-6].

Уравнения динамики

Перейдем к нелинейной задаче о колебаниях механизмов параллельной структуры. Будем рассматривать численное решение, при котором будет учтена структура и геометрия взаимного положения кинематических цепей. Известно [3], что при этом могут иметь место взаимные влияния между колебаниями по разным обобщенным координатам.

Объектом исследования будет простейший плоский механизм с двумя степенями свободы, у которого вся масса сосредоточена в центре тяжести выходного звена, расположенном на оси вращательной кинематической пары, сопрягающей штоки линейных приводов (Рис 4.).

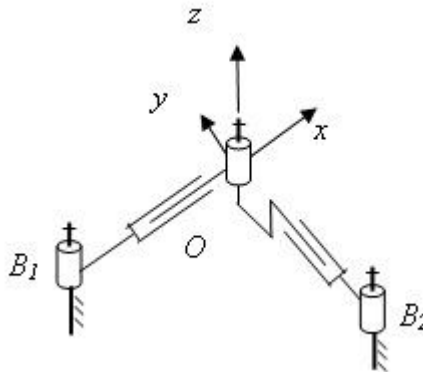


Рис. 4.

Массами кинематических цепей пренебрегаем. Полагаем, что в таком механизме можно будет наблюдать свойства, которые в дальнейшем можно будет распространить на более сложные механизмы параллельной структуры [4-6].

Запишем уравнения, описывающие свободные колебания (не прибегаем к какой-либо линеаризации):

$$\frac{dV_x}{dt} = - \frac{[(\sqrt{(x-x_{B1})^2 + (y-y_{B1})^2} - l_1) \frac{(x-x_{B1})}{\sqrt{(x-x_{B1})^2 + (y-y_{B1})^2}}]c_1}{m} - \frac{[(\sqrt{(x-x_{B2})^2 + (y-y_{B2})^2} - l_2) \frac{(x-x_{B2})}{\sqrt{(x-x_{B2})^2 + (y-y_{B2})^2}}]c_2}{m}$$

$$\frac{dV_y}{dt} = - \frac{[(\sqrt{(x-x_{B1})^2 + (y-y_{B1})^2} - l_1) \frac{(y-y_{B1})}{\sqrt{(x-x_{B1})^2 + (y-y_{B1})^2}}]c_1}{m} - \frac{[(\sqrt{(x-x_{B2})^2 + (y-y_{B2})^2} - l_2) \frac{(y-y_{B2})}{\sqrt{(x-x_{B2})^2 + (y-y_{B2})^2}}]c_2}{m}$$

Здесь m – масса выходного звена, c_1, c_2 – жесткости приводов, l_1, l_2 – ходы штоков приводов (обобщенные координаты) до начала колебаний в равновесном состоянии, x, y – координаты

центра выходного звена, x_{B1} , y_{B1} , x_{B2} , y_{B2} - координаты неподвижных точек B_1 , B_2 . В уравнения входят упругие силы, спроектированные на координатные оси.

В данных уравнениях присутствует восстанавливающая сила. Коэффициент жесткости постоянный, но сила из-за геометрических особенностей системы – нелинейна. Иными словами, сила пропорциональна ходу штока соответствующего линейного привода. Этот ход штока умножается на коэффициент жесткости. Для того чтобы получить проекцию силы на оси координат, берется скалярное произведение между направлением силы и направлением соответствующей оси. Эти уравнения интегрируются с помощью программы решения дифференциальных уравнений.

Пусть $m = 1\text{кг}$, $c_1 = c_2 = 100\text{ Н/м}$, $l_1 = l_2 = 1\text{м}$, $x_{B1} = -1\text{м}$, $y_{B1} = 0$, $x_{B2} = 0$, $y_{B2} = -1\text{м}$, начальные условия: $x_0 = 0,4\text{м}$, $y_0 = 0$, $V_{x0} = V_{y0} = 0$, конечное время расчета 5с .

На рисунке 5 приведены зависимости координат центра тяжести выходного звена от времени, траектория движения этой точки в декартовой системе, а также фазовые траектории движения. Из этих зависимостей видно, что колебания по оси x близки к периодическим, а колебания по оси y имеют амплитуду, вполне сопоставимую с колебаниями по оси x . Траектория точки – незамкнутая кривая.

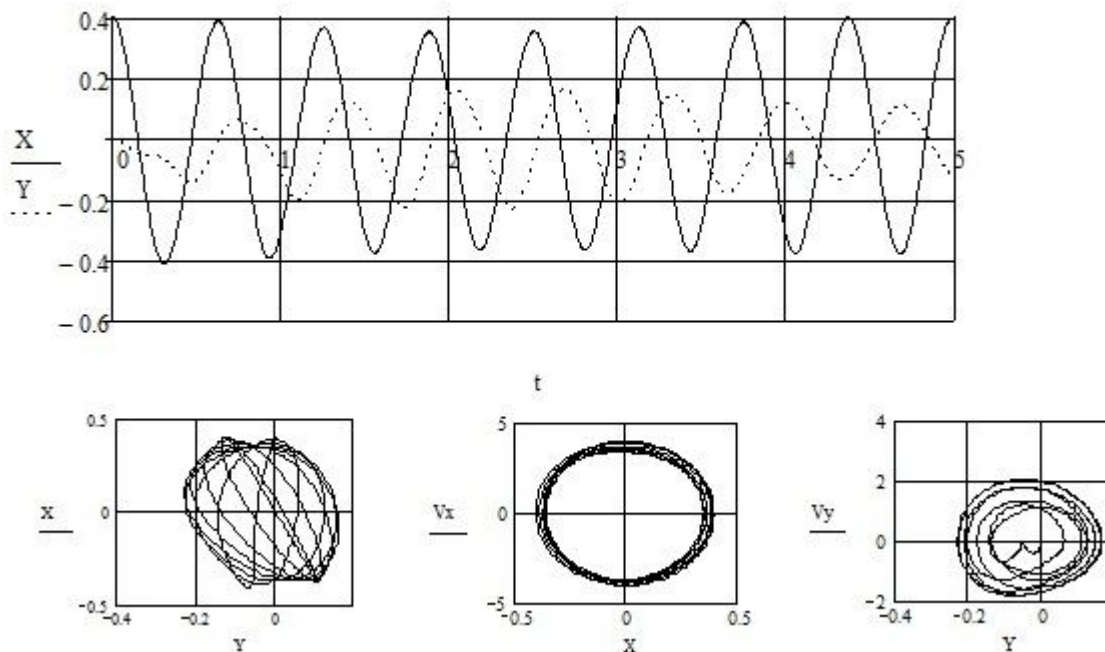


Рис. 5.

Список литературы

1. Merlet J. P. Parallel robots. Kluwer Academic Publishers, 2000. 372p.
2. Глазунов В.А., Колискор А.Ш., Крайнев А.Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. М.: Наука, 1991.
3. Ганиев Р.Ф., Кононенко В.О. Колебания твердых тел. М.: Наука, 1976.
4. Fichter E.F. A Stewart Platform – Based Manipulator: General Theory and Practical Construction. / Int. J. Robotic Res. 1986. N 2. P. 165-190.
5. 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.
6. Диментберг Ф.М. Движение твердого тела, осуществляемое действием на его точки тяг – толкателей. / Машиноведение. 1988. № 5. С. 63-69.