

УДК 621.01

МЕХАНИЗМЫ ПОВОРОТА АНТЕННЫ КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА

© Владимир Викторович Кореновский¹⁾, Николай Григорьевич Морозов²⁾,
Эдуард Евгеньевич Сильвестров²⁾

1) МГМУ «МАМИ», Москва

2) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва

vkorenovskii@mail.ru

Аннотация В работе дано решение задачи по осуществлению поворота антенны космического телескопа (рефлектора) при помощи механизмов. Приведены схемы таких механизмов, определена их кинематика при повороте зеркала при постоянном положении центра масс рефлектора. Особенностью кинематического анализа являлось разбиение кинематического расчета на два этапа. На первом этапе определялись координаты крепежных узлов рефлектора при вращении последнего относительно неподвижного центра масс телескопа. На втором – определялись положения звеньев механизмов поворота. Так как исходные точки крепления вспомогательных поворотных механизмов задавались, координаты точек крепления поворотных механизмов с рефлектором рассчитывались, определение положений звеньев поворотных механизмов, являющихся по структуре двухповодковыми группами Ассур было относительно простым.

Ключевые слова Космический телескоп, рефлектор, центр масс телескопа, механизмы поворота, группы Ассур.

В настоящее время ведется работа по созданию космической обсерватории «Миллиметрон» (проект «Спектр-М» Федеральной космической программы) с раскрываемым телескопом диаметром 10 м., работающим в диапазоне волн от 20 мкм до 20 мм. Особенностью телескопа является его охлаждение до 4°К его рабочей поверхности зеркала, что обеспечит ему сверхвысокую чувствительность, которая при 10-метровом зеркале телескопа будет соответствовать 100-метровому телескопу без охлаждения [1]. Это позволит получить информацию от сверхслабых источников, а, следовательно, предельно удаленных и недоступных для наблюдений современными наземными и космическими средствами. Для достижения этих целей была выбрана орбита космического аппарата (КА) в районе точки Лагранжа L2 с постоянной ориентацией аппарата и его радиационных экранов на Солнце для защиты телескопа от солнечного нагрева. При этом КА приобрел вытянутую гантелеобразную форму, с одной стороны которого размещен телескоп, а с другой стороны служебный модуль, на котором находятся реактивные двигатели коррекции, ориентации и стабилизации и двигатели-маховики. Центр массы КА оказался посередине КА, т.к. массы телескопа и служебного модуля получились равными, а его положение сильно зависимым от положения ц.м. телескопа при его поворотах, что сказывается на возможностях двигателей КА парировать возникающие моменты при повороте телескопа и стабилизировать возникающие колебания.

Одним из вариантов обеспечения наведения телескопа может быть снабжение его опорно-поворотного устройства механизмом поворота телескопа по углу места от 0° до 90° и поворотом по азимуту от + 180° до - 180° за счет вращения КА вокруг его продольной оси.

Непременным условием такого наведения должно быть сохранение неизменным положения ц.м. телескопа на продольной оси КА или очень близким к нему. При этом оптическая ось телескопа, проходящая через центр фокального криоконтейнера с научной аппаратурой

совмещается с ц.м. телескопа только при его вертикальном положении. На рис. 1 показан общий вид обсерватории «Миллиметрон».

В результате анализа предложенных структурных схем механизмов были выбраны шестизвенные плоские механизмы, имеющие три степени свободы (см. рисунки 2,3).

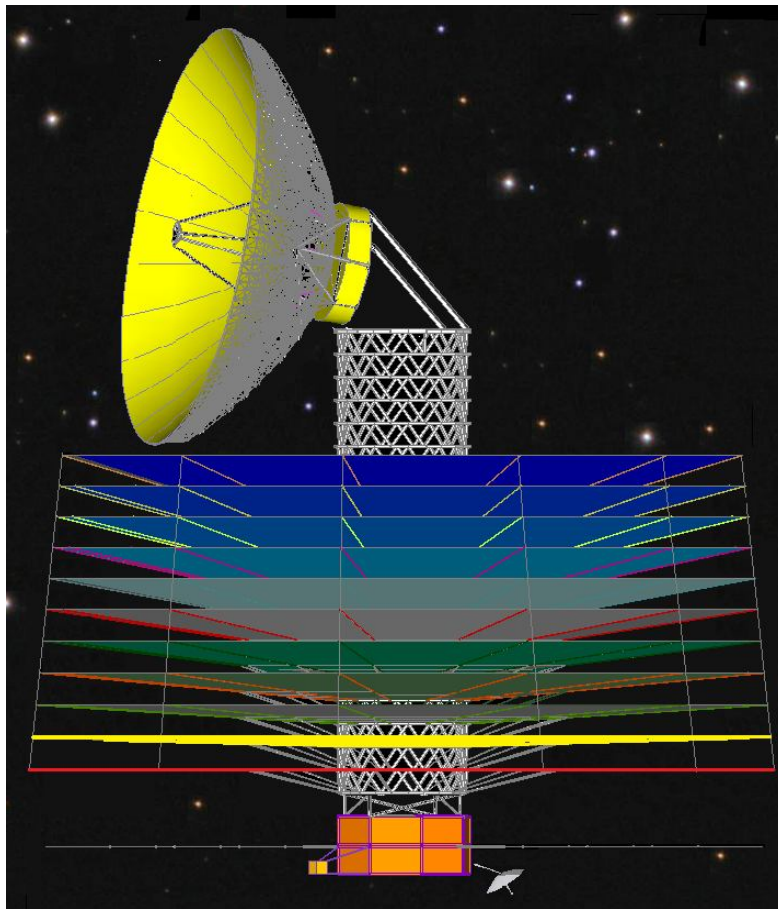


Рис. 1

Механизм поворота, представленный на рис. 2, имеет опорные штанги («ноги») в виде Х-образной конструкции опорных ног. В результате такого решения удалось уменьшить поперечные размеры механизма поворота зеркала, что немаловажно в случае доставки механизма на орбиту космического аппарата в корпусе ракеты. Так как были предложены жесткие требования заказчиков на изменение центра масс КА в процессе поворота зеркала телескопа, то пришлось считать, что положение центра масс телескопа с зеркалом находится в постоянном месте на фокальной оси телескопа, в фокусе зеркала телескопа. В этом случае положение центра масс КА не должно сильно отклоняться от фактического в результате поворота зеркала. Процесс разработки механизма поворота зеркала условно разбивался на два этапа. На первом этапе определялись базовые координаты (точек соединения опорных рычагов с корпусом криогенератора), а на втором – определялись управляющие воздействия от опорных рычагов на корпус криогенератора для поворота зеркала телескопа на 90°.

Первый этап.

Координаты точек D и C – точек крепления корпуса криогенератора телескопа с опорными стержнями можно определить, используя матрицу преобразования координат

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{C},$$

где \mathbf{A} – матрица преобразования, \mathbf{B} – вектор координат точки подвеса в подвижной системе координат $X_1O_1Y_1$, \mathbf{C} – вектор получаемых расчетных координат той же точки в абсолютной системе координат (см. рисунок 2а) [2].

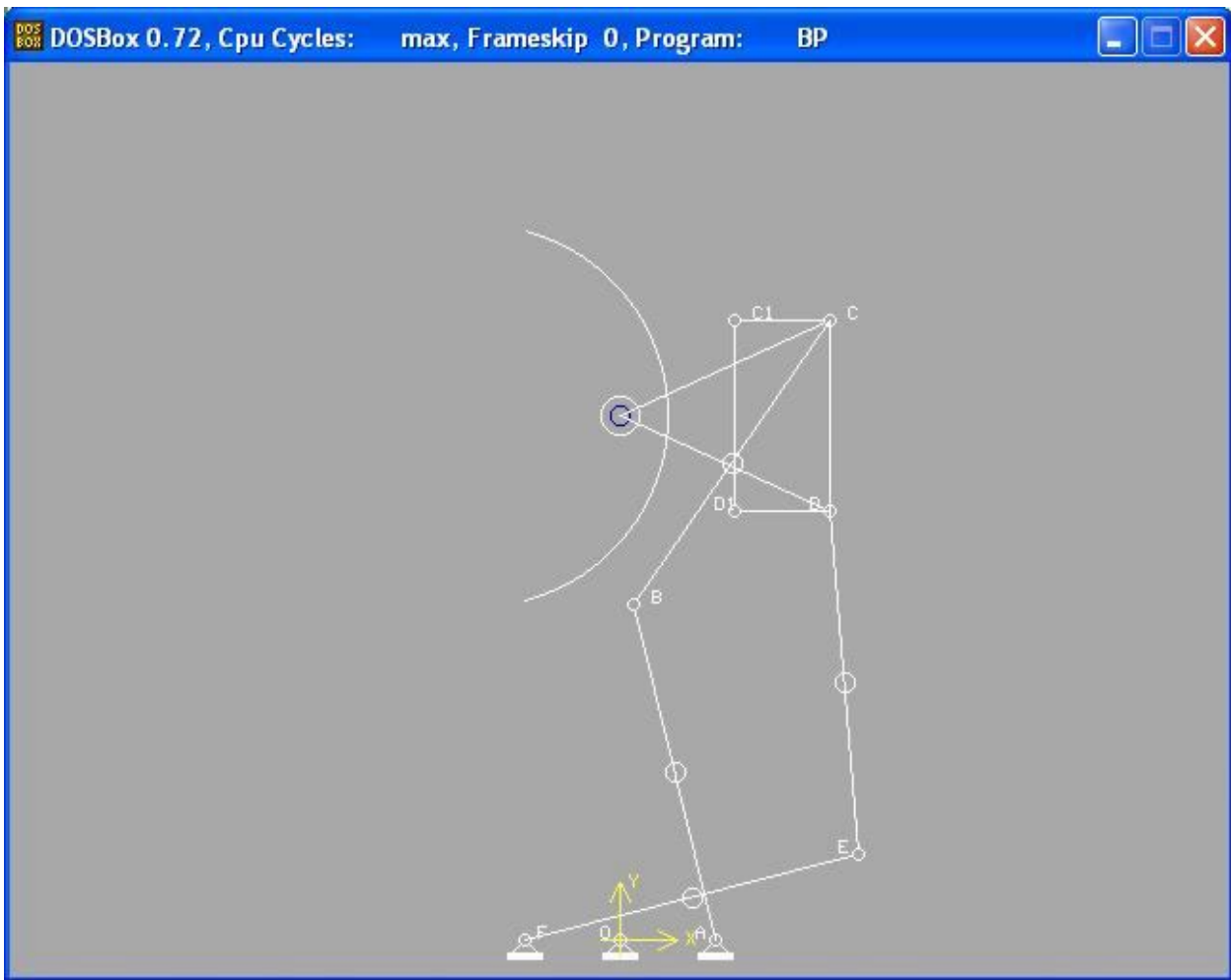


Рис. 2

$$\begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & O_{x1} \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & O_{y1} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} D_{x1} \\ D_{y1} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{x1} \cos \alpha - D_{y1} \sin \alpha + O_{x1} \\ D_{x1} \sin \alpha + D_{y1} \cos \alpha + O_{y1} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & O_{x1} \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & O_{y1} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} C_{x1} \\ C_{y1} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{x1} \cos \alpha - C_{y1} \sin \alpha + O_{x1} \\ C_{x1} \sin \alpha + C_{y1} \cos \alpha + O_{y1} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Следовательно, $D_x = D_{x1} \cos \alpha - D_{y1} \sin \alpha + O_{x1}$; $D_y = D_{x1} \sin \alpha + D_{y1} \cos \alpha + O_{y1}$;
 $C_x = C_{x1} \cos \alpha - C_{y1} \sin \alpha + O_{x1}$; $C_y = C_{x1} \sin \alpha - C_{y1} \cos \alpha + O_{y1}$.

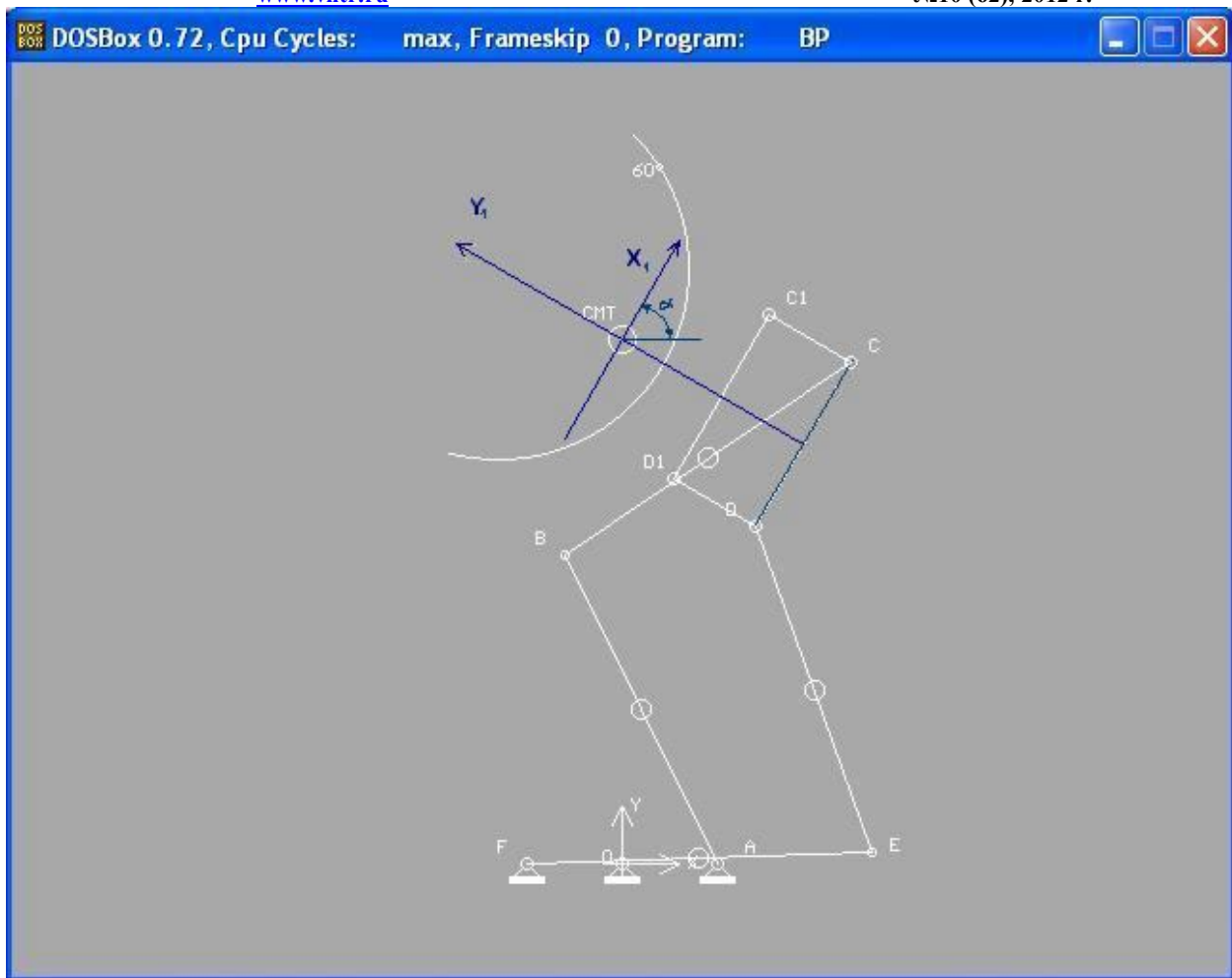


Рис. 2а

Второй этап.

На этом этапе определялись положения опорных рычагов для расчетных положений точек D и C корпуса криогенератора. Так как опорные рычаги структурно представляют группы Ассура первого вида (два звена и три неподвижные вращательные кинематические пары), а аналитическое решение задач кинематики для таких групп Ассура хорошо известно, то можно использовать стандартные библиотечные процедуры для определения кинематических характеристик опорных рычагов FE и ED, AB и BC [3].

В этом случае, обращение к вычислительной процедуре *Diada1v*, определяющей кинематические характеристики группы Ассура первого вида будет выглядеть следующим образом:

Diada1v(sb,fx,fy,vfx,vfy,afx,afy,dx,dy,vdx,vdy,adx,ady,fe,ed,alfaFE,omFE,epsiFE,alfaDE,omDE,epsiDE);

Diada1v(sb,ax,ay,vax,vay,aax,aaay,cx,cy,vcx,vcy,acx,acy,ab,bc,alfaAB,omAB,epsiAB,alfaCB,omCB,epsiCB).

Расшифровка параметров в обращениях к процедуре *Diada1v*:

Sb – параметр, характеризующий сборку группы Ассура (2 – для первой группы Ассура (fed) и 1 – для второй (a,b,c));

Fx,fy,vfx,vfy,avx,afy – проекции координат, проекции аналогов скоростей и ускорений точки f;

Dx,dy,vdx,vdy,adx,ady – проекции координат, проекции аналогов скоростей и ускорений точки d;

Fe,ed – длины звеньев;

Шесть последних параметров являются возвращаемыми. В результате обращения к данной процедуре получаем решение всех трех задач кинематики: угловые положения звеньев, аналоги угловых скоростей и аналоги угловых ускорений звеньев f_e и e_d .

Обращаясь к данной процедуре вторично с другим набором параметров, получаем угловые положения звеньев, аналоги угловых скоростей и аналоги угловых ускорений звеньев ab и bc .

Механизм, представленный на рисунке 3, имеет поворотную платформу, вращающуюся вокруг оси, проходящую через точку фокуса зеркала телескопа. Следовательно, первый этап синтеза такого механизма полностью соответствует такому же этапу вышерассмотренного механизма. Определив координаты точек D и C , переходим ко второму этапу расчета.

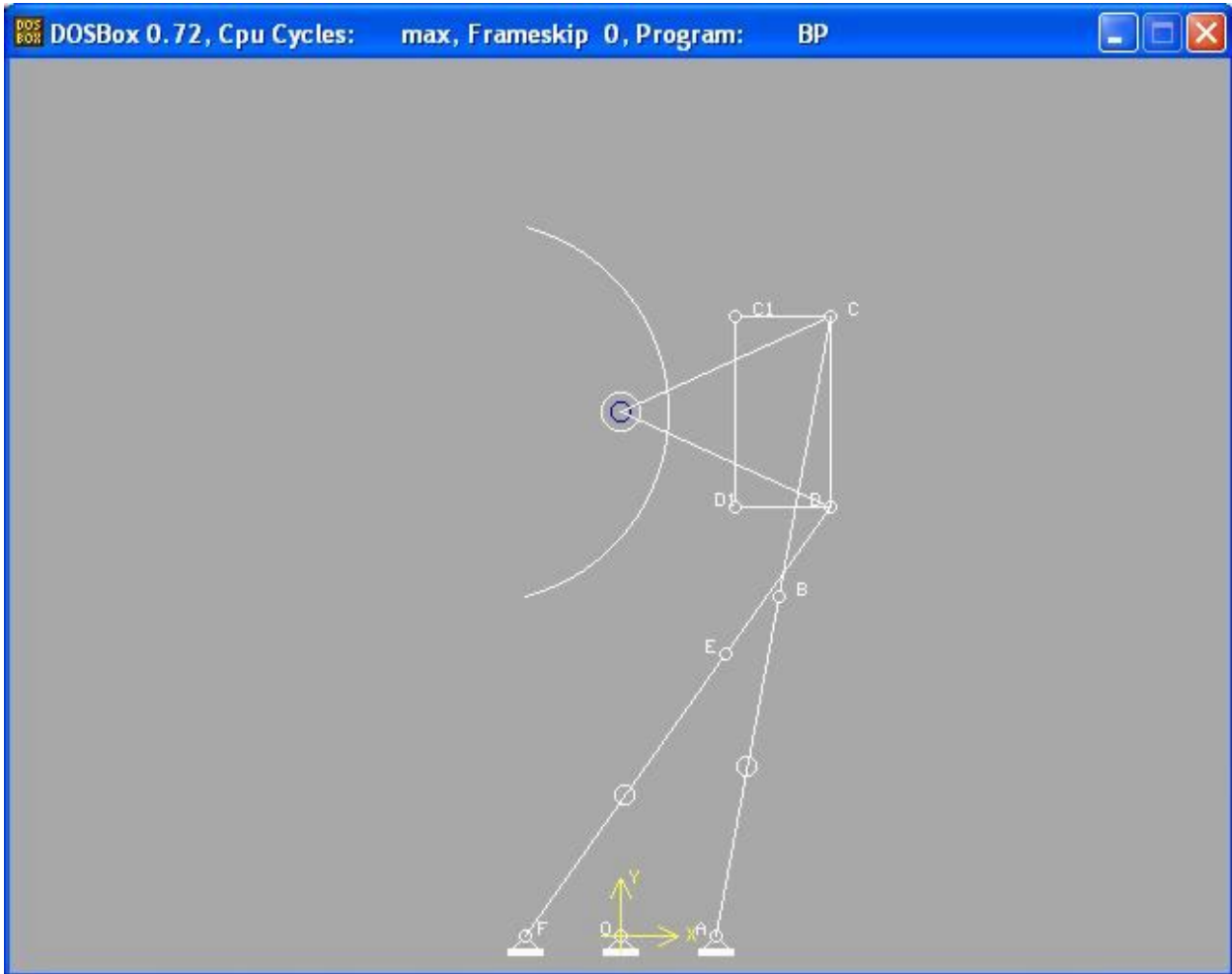


Рис. 3

Так как здесь опорные рычаги соединены между собой при помощи одноподвижной поступательной пары, необходимо определить общую длину двух рычагов и угол поворота обоих рычагов относительно опорной поверхности КА. Длины FD и AC определим по формулам:

$$FD = \sqrt{(D_x - F_x)^2 + (D_y - F_y)^2}$$

$$AC = \sqrt{(C_x - A_x)^2 + (C_y - A_y)^2},$$

А угол наклона для FD определим

$$\varphi_{FD} = \arctan\left(\frac{D_y - F_y}{D_x - F_x}\right).$$

Здесь следует отметить, что для полного поворота зеркала телескопа необходимы всего три обобщенные координаты. Поэтому для механизма на рисунке 2 в качестве начальных звеньев выбираем звенья FE, ED, AB и используем их повороты, а для поворота зеркала механизма на рисунке 3 используем относительное движение звеньев FE и ED, их совместный поворот на угол φ_{FD} и относительное движение звеньев AB и BC.

Рассмотренные схемы механизма поворота зеркала телескопа не учитывают изменения координат центра масс телескопа в результате перемещения опорных стоек. Принимаем, что массы опорных стоек по сравнению с массами зеркала и корпуса телескопа малы и они не вызывают значительных перемещений общего центра масс телескопа. Если же возникнет необходимость учитывать еще и изменения положения центра масс телескопа из-за перемещения опорных стоек, то необходимо предусмотреть механизмы компенсации, которые монтируются в крепежных точках F и A и имеют управляемые перемещения по двум координатам: вдоль корпуса КА и поперек него в плоскости работы механизма поворота.

В Лаборатории теории механизмов и структуры машин Института машиноведения РАН разработана еще одна кинематическая схема механизма поворота зеркала телескопа КА. На рисунке 4 представлена схема механизма, состоящая из последовательно

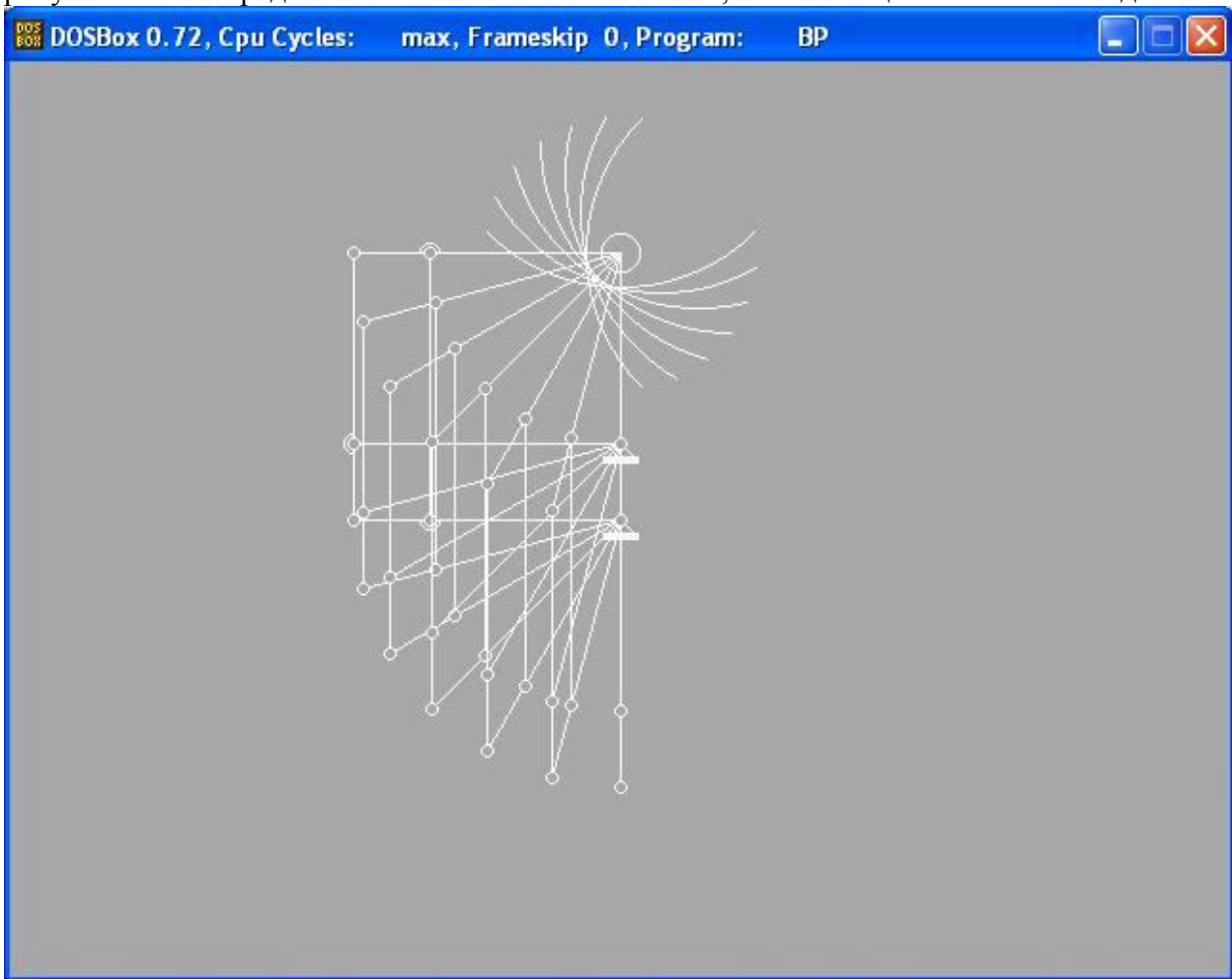


Рис. 4

соединенных параллелограммов, позволяющая повернуть зеркало телескопа на 90° . Поворот зеркала осуществляется вокруг оси, проходящей через фокус зеркала телескопа.

Отличительной чертой данного механизма является то, что он имеет одну степень свободы, что подразумевает только одно начальное звено и одну обобщенную управляемую координату.

Литература

1. Артеменко Ю.Н., Сильвестров Э.Е., Кореновский В.В., Глазунов В.А. Синтез механизмов параллельной структуры для ориентации антенны космического телескопа. //Проблемы машиностроения и надежности машин. 2012, № 4, с. 3 – 9.
2. А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес и др. Манипуляционные системы роботов. Под редакцией д.т.н. А.И. Корендясева М., «Машиностроение». 1989 г. 472 с.
3. Мамаев А.Н., Кореновский В.В. Компьютерное моделирование и анализ кинематики плоских рычажных механизмов. М., Из-во МГТУ «МАМИ», 2000 г. 34 с.

Поступила: 15.08.12