

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САМАРСКИЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЁВА»  
Институт Двигателей и Энергетических Установок  
Кафедра Конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов

КУРСОВАЯ РАБОТА «Моделирование, расчет и анализ промышленного  
робота»  
Вариант

Выполнил: студенты группы  
Проверил: Мелентьев В.С.

Самара,

## РЕФЕРАТ

Курсовая работа: страниц, рисунков, источника

МЕХАНИЗМ, СТЕРЖНЕВАЯ МОДЕЛЬ, ОБЪЕМНАЯ МОДЕЛЬ, КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ГРУППЫ, КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА, СФЕРИЧЕСКИЙ ШАРНИР, УПРАВЛЯЮЩИЕ ЗВЕНЬЯ, ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ, КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МОДЕЛИ

Курсовая работа посвящена кинематическому моделированию промышленного робота с совместным использованием пакетов MSC.ADAMS и SolidWorks. Проведено изучение выбранной конструкции. В среде MSC.ADAMS построена стержневая модель робота в виде сборки, состоящей из отдельных деталей для уточнения размеров звеньев модели, на основе которой создана объёмная модель в CAD-пакете. После импорта в MSC.ADAMS модель была оснащена кинематическими и динамическими граничными условиями, был выполнен спектр расчётов для определения параметров механизма. Получена анимация работы механизма и требуемые графики.

## ЗАДАНИЕ

Конструкция стола состоит из основания в виде трех жестко скрепленных балок и трех направляющих (рис. 1). По направляющим поступательно движутся каретки, к которым шарнирно закреплены по два тонких стержня, концы которых шарнирно закреплены к общей платформе, имеющей форму шестигранника.

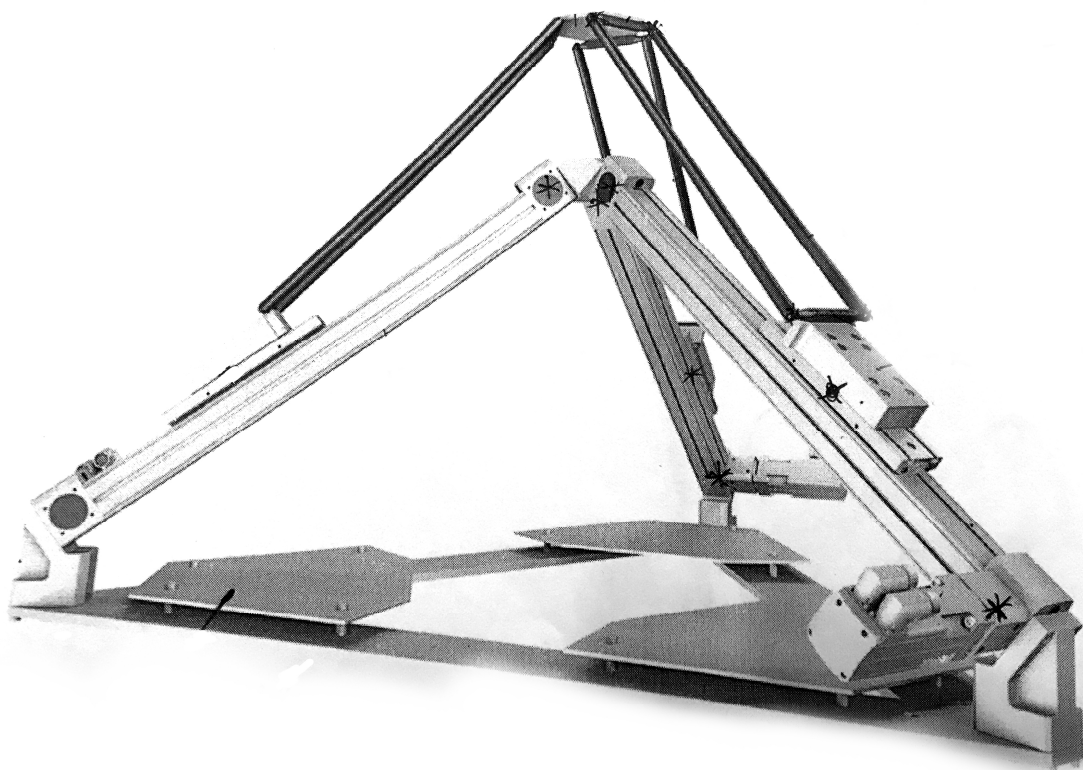


Рисунок 1 – внешний вид промышленного робота.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                           | Стр. |
|-------------------------------------------|------|
| Введение.....                             | 5    |
| 1     Стержневая модель.....              | 6    |
| 1.1     Построение стержневой модели..... | 6    |
| 1.2     Кинематическая схема модели.....  | 11   |
| 2     Объёмная модель.....                | 16   |
| 2.1     Построение объёмной модели.....   | 16   |
| 2.2     Приложение граничных условий..... | 20   |
| 2.3     Кинематический расчёт модели..... | 22   |
| Заключение.....                           | 28   |
| Список использованных источников.....     | 29   |

## ВВЕДЕНИЕ

Системы автоматизированного анализа виртуальных моделей механизмов и машин необходимы для того, чтобы избежать дорогостоящих процедур доводки. Такие системы анализа позволяют проверить качество изделия, не создавая образца. Для этого используются алгоритмы безбумажного проектирования, в которые CAD-часть входит как один из этапов. Действует этот алгоритм следующим образом: 3D-модель изделия, полностью описывающая конструкцию механизма (или ее часть), отправляется на кинематический расчет, в ходе которого определяются перемещения, скорости и ускорения всех элементов модели. Если они не удовлетворяют конструктора, он может вернуться к CAD-пакету и изменить компоновку или размеры деталей. Если расчеты произведены верно и устраивают конструктора, то модель подвергается динамическому расчету, в ходе которого определяются силы и моменты, действующие в конструкции, в том числе и реакции во всех соединениях. Здесь опять возможен возврат к 3D-модели, либо же продолжение расчетов. Далее следует прочностной анализ, в ходе которого определяются напряжения во всех элементах. Если и прочность удовлетворяет конструктора, то далее следует переработка модели для производства, для чего также существуют специальные программы. Если обеспечить универсальность модели для каждой из программ, то есть свободный обмен информации между ними, можно говорить об алгоритме безбумажного проектирования, реализованного на базе интегрированных программ. Чем полнее интеграция, тем совершеннее алгоритм.

## **1 Стержневая модель**

Стержневая модель строится при создании нового механизма, так как абстрагируясь от форм деталей и их массово-инерционных характеристик, возможно увеличить скорость создания модели. Стержневая модель позволяет: выявить общие закономерности движения звеньев механизма, найти ошибки в принципиальной схеме будущего изделия, определить скорости, перемещения и ускорения всех звеньев. Данная модель очень удобна при частых изменениях схемы на первых стадиях проектирования, для параметризации и автоматической оптимизации. Однако она не позволяет получить динамические характеристики, так как не содержит информации о массах и моментах инерции. Стержневые модели могут быть: плоскими и пространственными. Для создания стержневых моделей в ADAMS/View предусмотрены специальные инструменты: link, Plate и Plane.

ADAMS/View предназначен для создания, тестирования и оптимизации работы моделей механизмов и конструкций, состоящих из абсолютно твердых тел и их соединений (шарниров, нитей, пружин и т.д.). Создание модели подразумевает описание всех ее характеристик: геометрических размеров, физических свойств, способов соединения подвижных и неподвижных частей, задание действующих сил и моментов, начального положения элементов модели и их скоростей.

### **1.1 Построение стержневой модели**

Построение стержневой модели проводилось в программе MSC.ADAMS. Стержневая модель представляет из себя основание (ground, см рис. 2) с тремя направляющими (main\_link), вдоль которых движутся каретки (karetka). Каретки при перемещении меняют положение плиты в пространстве через перемещение стержней (little\_link), которые их соединяют и крепятся к плите и каретке при помощи сферических шарниров.

Сначала мы построили основание – равносторонний треугольник, контур которого состоит из стержней (ground). Ширина стержней равна 20см.

На высоте 20 см от центра основания поставили точку и вокруг этой точки расположили концы стержней, которые находятся под углом к основанию и имеют начало в вершинах основания – это направляющие (main link). На высоте 50 см от центра основания построили окружность радиусом 2,5 см и с помощью неё рассчитали вершины шестиугольника – это платформа (plate). Вид стержневой модели представлен на рисунке 2.

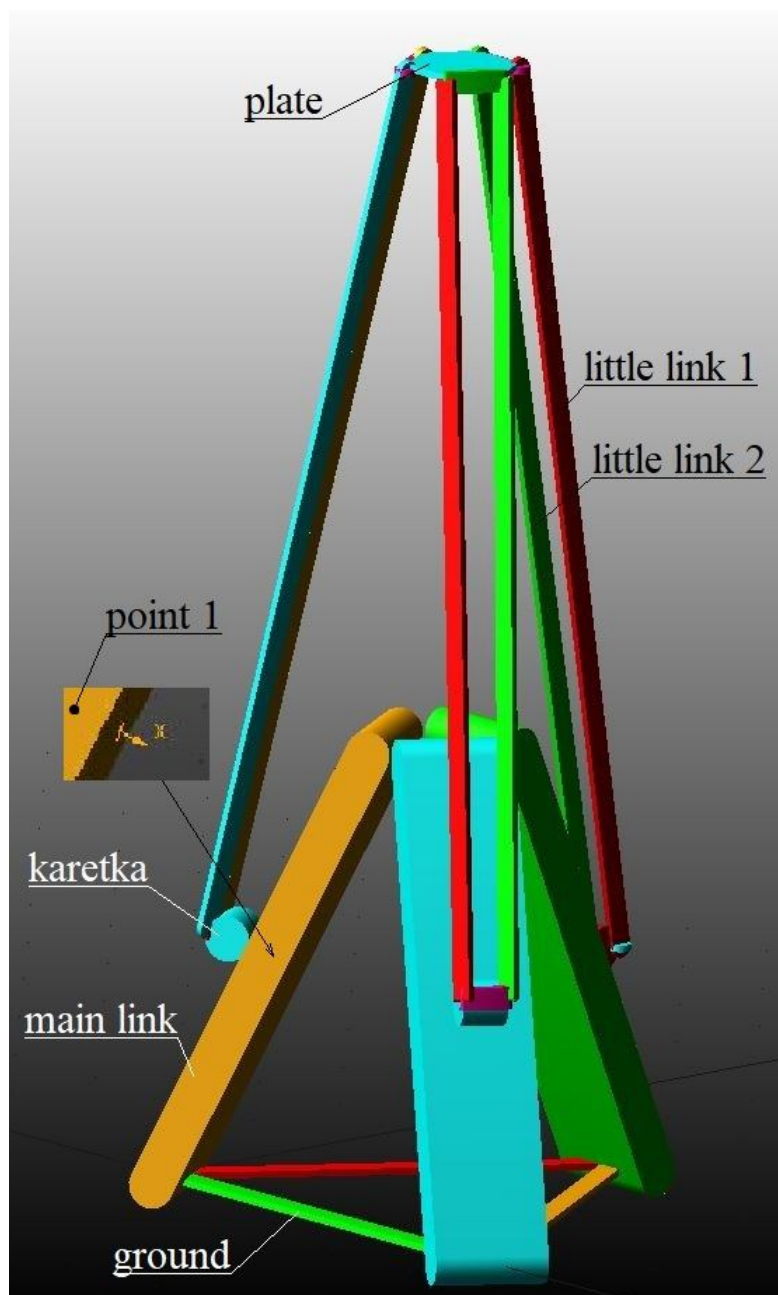


Рисунок 2 – стержневая модель.

В центре масс каждой направляющей построили точки (point 1), переместили их копии на 1 см так, чтобы они оказались на поверхности стержней. От этих точек влево и вправо построили точки (karetka point), чтобы построить цилиндр – каретка (karetka) – радиусом 2 см (рис. 3). На поверхности цилиндра построили связующие стержни (link).

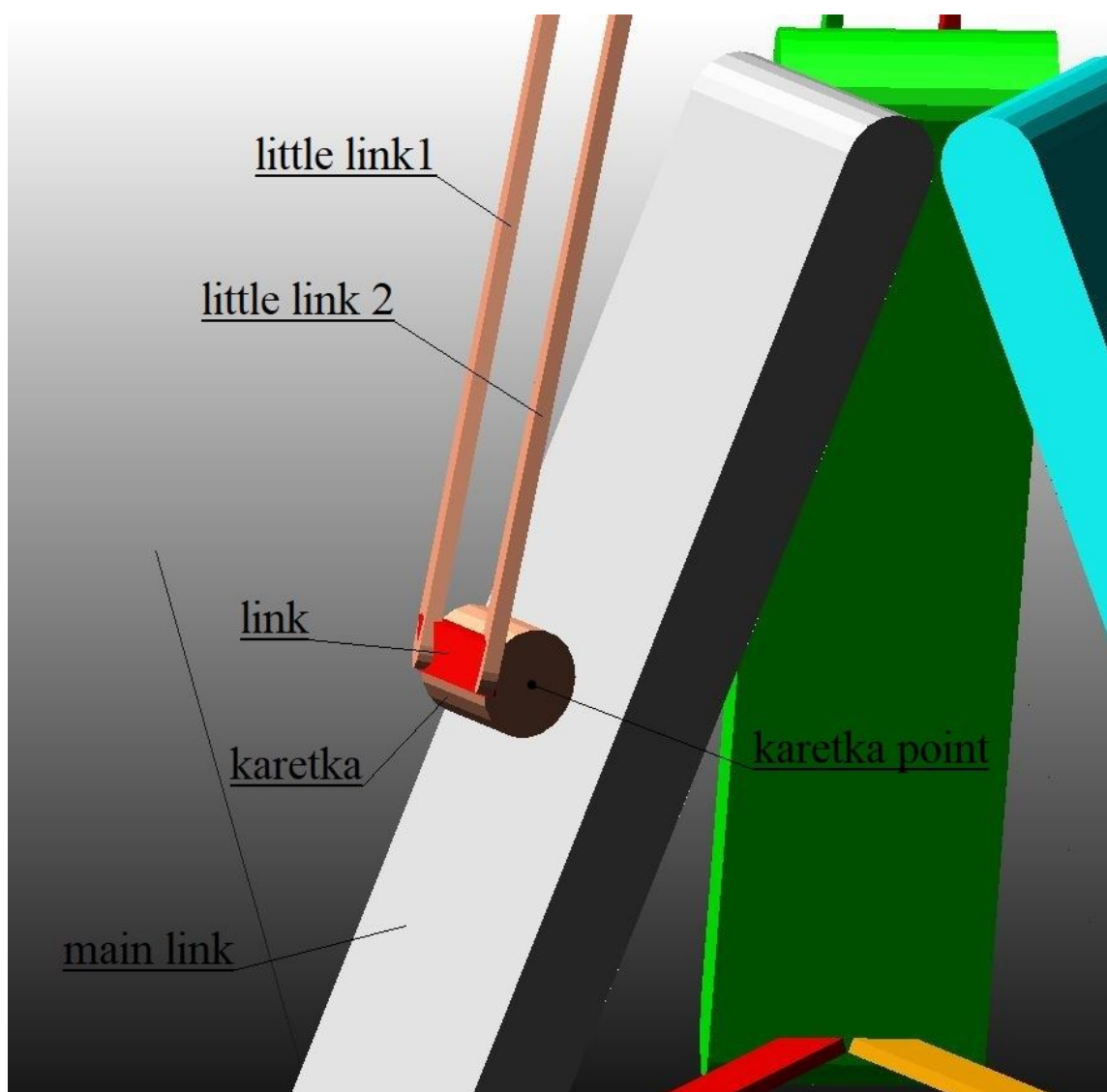


Рисунок 3 – приближенный вид каретки модели.

Такие же стержни (plate link) построили на трёх гранях платформы (рис. 4). Стержни link и plate link попарно соединили между собой стержнями, передающими движение от каретки на платформу (little link).

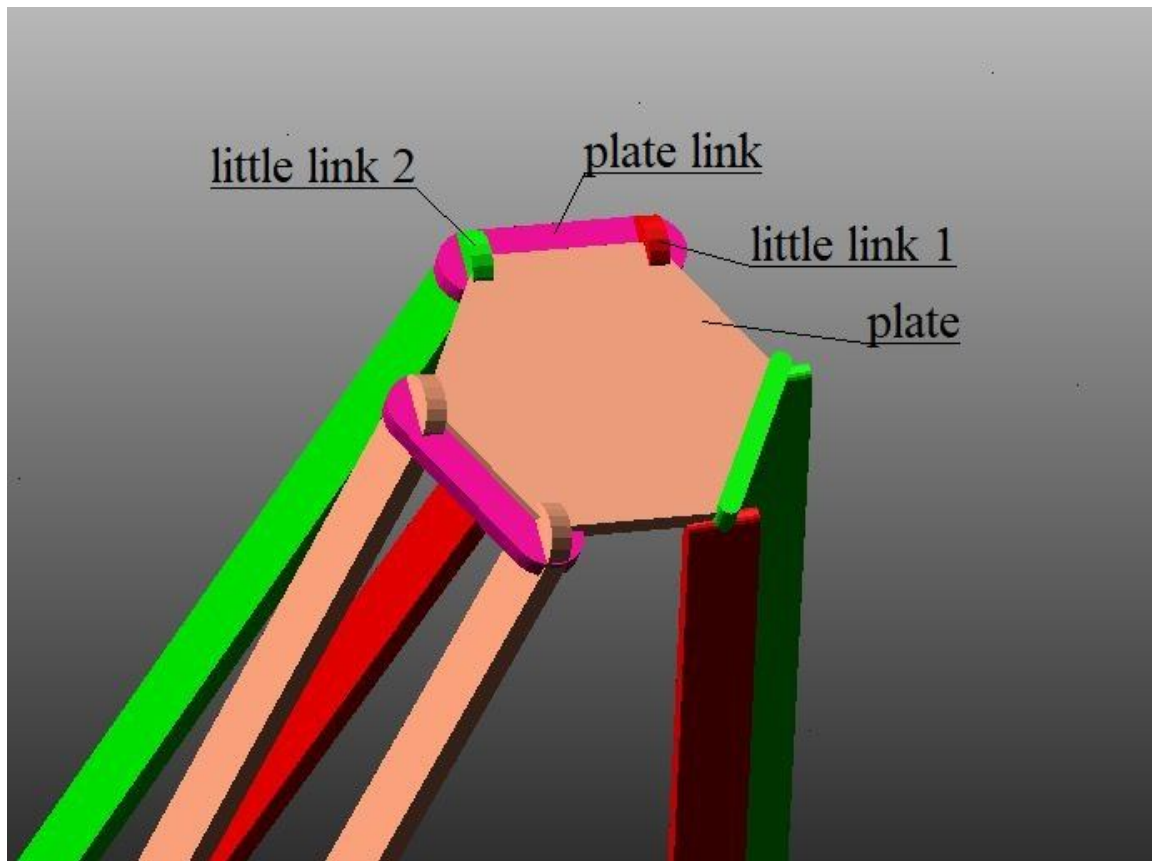


Рисунок 4 – приближенный вид платформы модели.

Стержни ground жестко прикрепили к земле, а стержни main link жестко закрепили с ground. На местах соединения little link с link и plate link с little link поставили сферические шарниры. Каждый link жестко прикрепили к соответствующим цилиндрам karetkа, аналогично закрепили plate link на plate.

Для кареток был выбран материал steel из материалов библиотеки ADAMS, для стержней и платформы – wood. Направляющие были заданы как ground, потому для них задание материала не нужно. Также в конце работы для расчета в систему был добавлен груз и прикреплен к платформе, его материал был выбран также как wood.

На рисунке 5 представлена таблица с координатами точек, которые были использованы для построения стрержневой модели.

Table Editor for Points in .kursovaya\_Dubova\_Sukhova

✓ f(x) i:f(i) Apply OK

|                        | Loc_X          | Loc_Y          | Loc_Z          |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|
| ground.groundPoint_1   | 0.0            | 0.0            | 0.0            |
| ground.groundPoint_2   | 200.0          | 0.0            | 0.0            |
| ground.groundPoint_3   | 100.0          | 173.2          | 0.0            |
| mainLink_1.POINT_20    | 100.0          | 139.975        | 100.0          |
| ground.mainLinkPoint_1 | 100.0          | 82.75          | 200.0          |
| ground.mainLinkPoint_2 | 78.35          | 45.25          | 200.0          |
| ground.mainLinkPoint_3 | 121.65         | 45.25          | 200.0          |
| ground.plate_6         | 112.5          | 36.1           | 500.0          |
| ground.plate_5         | 87.5           | 36.1           | 500.0          |
| ground.plate_4         | 75.0           | 57.75          | 500.0          |
| ground.plate_3         | 125.0          | 57.75          | 500.0          |
| ground.plate_2         | 112.5          | 79.4           | 500.0          |
| ground.plate_1         | 87.5           | 79.4           | 500.0          |
| mainLink_3.POINT_20    | 168.7147609346 | 104.1217505793 | -18.0683735552 |
| mainLink_2.POINT_21    | 30.4962629761  | 104.5339256372 | -17.6127109036 |
| Karetka_1.POINT_24     | 109.8283543223 | 160.0594053212 | 99.8581754349  |
| Karetka_1.POINT        | 109.8283543223 | 160.0594053212 | 99.8581754349  |
| Karetka_1.POINT_27     | 89.8310906452  | 159.8891449308 | 100.1418245651 |
| mainLink_2.POINT_32    | 19.7179518365  | 112.777426792  | 0.1600969131   |
| mainLink_2.POINT_32_2  | 9.7155303922   | 112.7774267994 | -17.1590129153 |
| mainLink_3.POINT_38    | 179.4930720856 | 112.3652517415 | -0.2955657489  |
| mainLink_3.POINT_38_2  | 189.4954935218 | 112.365251734  | -17.6146755821 |

☐ Parts 
 ☐ Markers 
 ☒ Points 
 ☐ Joints 
 ☐ Forces 
 ☐ Motions 
 ☐ Variables 
 Create Filters... Sorting... Write

Рисунок 5 – таблица с координатами точек модели.

## 1.2 Кинематическая схема модели

Из рисунка 6, на котором представлена кинематическая схема системы, видим связи кинематических групп между собой. Здесь направляющие жестко закреплены к земле, по направляющим движутся каретки, закрепленные к ним поступательными шарнирами. Каретки, перемещаясь, изменяют положение в пространстве стрелней, которые сферическими шарнирами соединяются с каретками и платформой. Таким образом, положение кареток на направляющих задает положение платформы в пространстве.

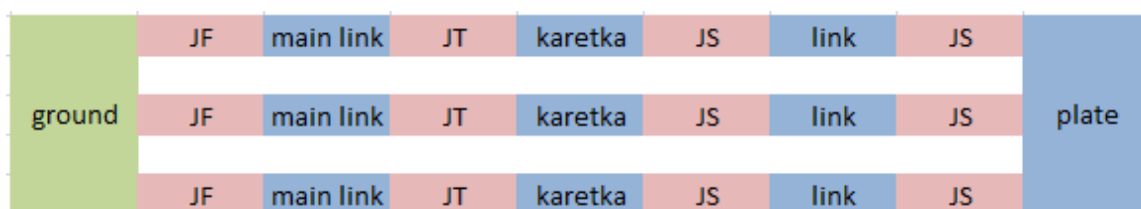


Рисунок 6 – кинематическая схема модели.

Поступательные шарниры приложены в местах касания кареток и направляющих, сферические – в местах пересечения plate link и little link, link и little link (рис. 7 и 8).

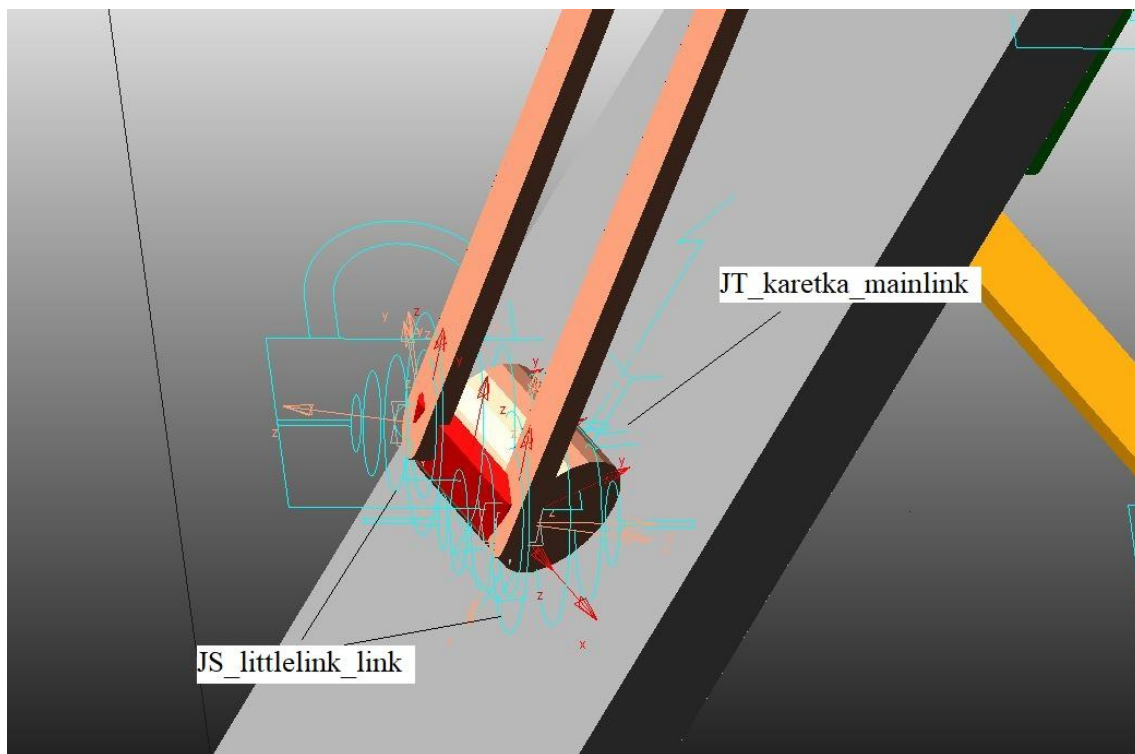


Рисунок 7 – места приложения шарниров каретки.

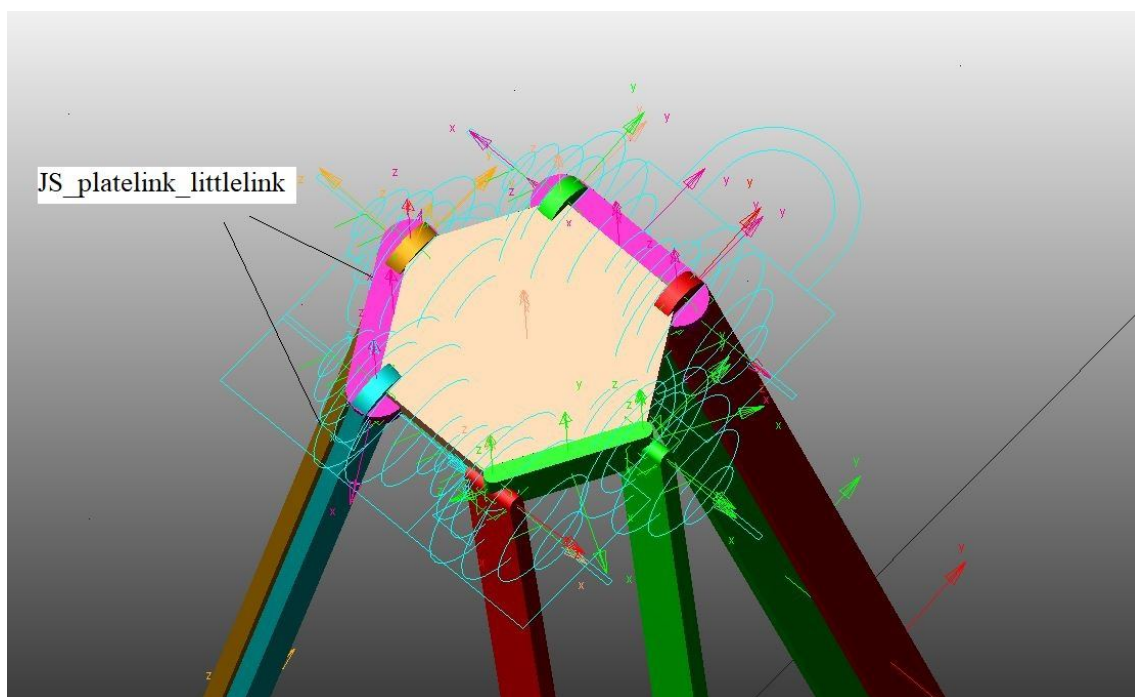


Рисунок 8 – места приложения шарниров платформы.

Общий вид системы со всеми шарнирами представлен на рисунке 9.

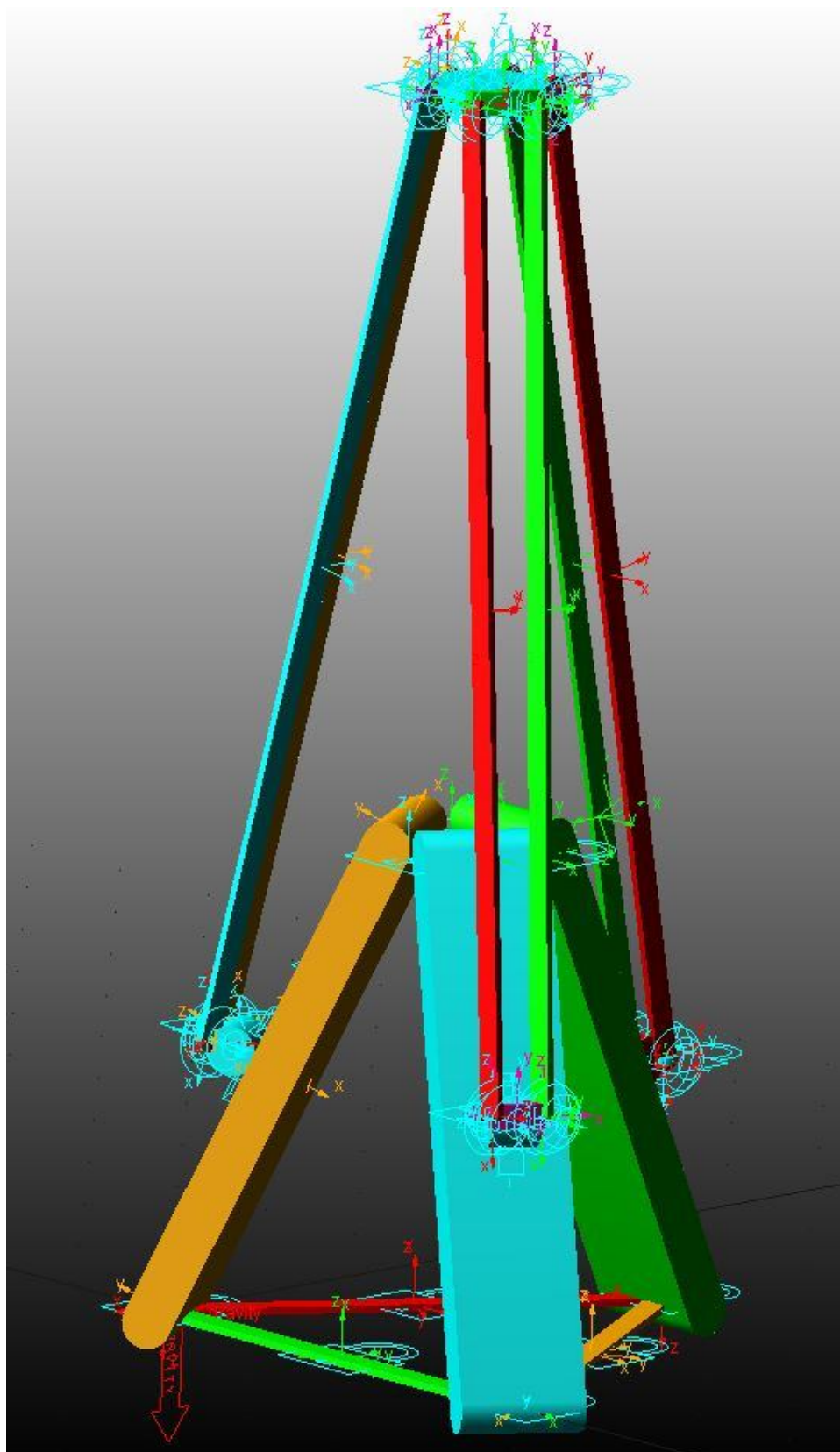


Рисунок 9 – общий вид модели с шарнирами.

Цилиндрам *karetka* было задано поступательное движение вдоль стержней *main link*. Для кареток записали уравнение движения  $S=80*\sin(0.3*time)$ , где  $S$  – текущее смещение в шарнире относительно исходной точки, а  $time$  – модельное время. После была запущена симуляция с параметрами время = 20 с и количество шагов 700, вид модели в конечном положении на рисунке 10.

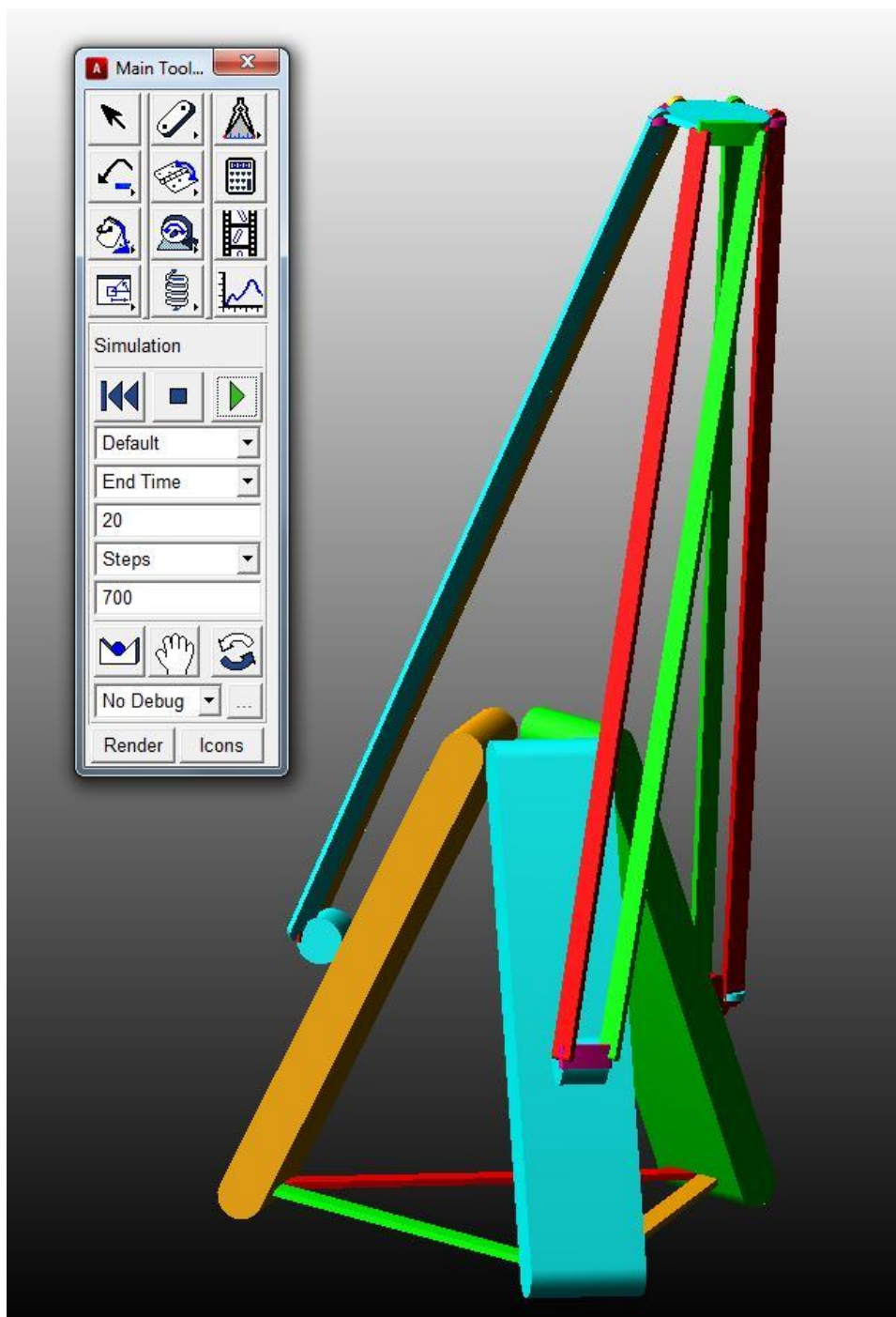


Рисунок 10 – вид конечного положения модели после симуляции.

## **2 Объёмная модель**

Объёмная модель описывает форму виртуального изделия. Позволяет выполнить компоновку изделия, получить динамические характеристики, так как содержит информацию о массах и моментах инерции, а также о рассеянии энергии и силах трения.

Объёмная модель полностью описывает конструкцию механизма (или ее часть) и используется для дальнейшего кинематического расчета. Удобнее всего стоит объемную модель в SolidWorks для дальнейшей передачи в среду Adams в формате Parasolid, сохраняя массово-инерционные характеристики системы. Причем нужно четко отделять понятие «части» (Part) и «геометрии» (Geometry). Первая содержит информацию о массе, моментах инерции и маркерах тела - его динамические характеристики.

### **2.1 Построение объёмной модели**

Упрощенная модель представлена на рисунке 11, ее кинематические группы: plate – платформа, link – стержень, main link – направляющая балка, karetka – каретка, ground – основание. Модель представляет собой треугольное основание с тремя направляющими. На направляющих размещены каретки, к которым прикреплены тонкие стержни. Стержни, в свою очередь, крепятся к шестиугольной платформе. Построение данной модели производилось в программном пакете SolidWorks. Все элементы в данной работе считаются абсолютно жесткими телами и идеализированными ограничениями. В таком виде оказалось возможным провести сравнение результатов с классической методикой расчета. Древо ее сборки показаны на рисунке 12.

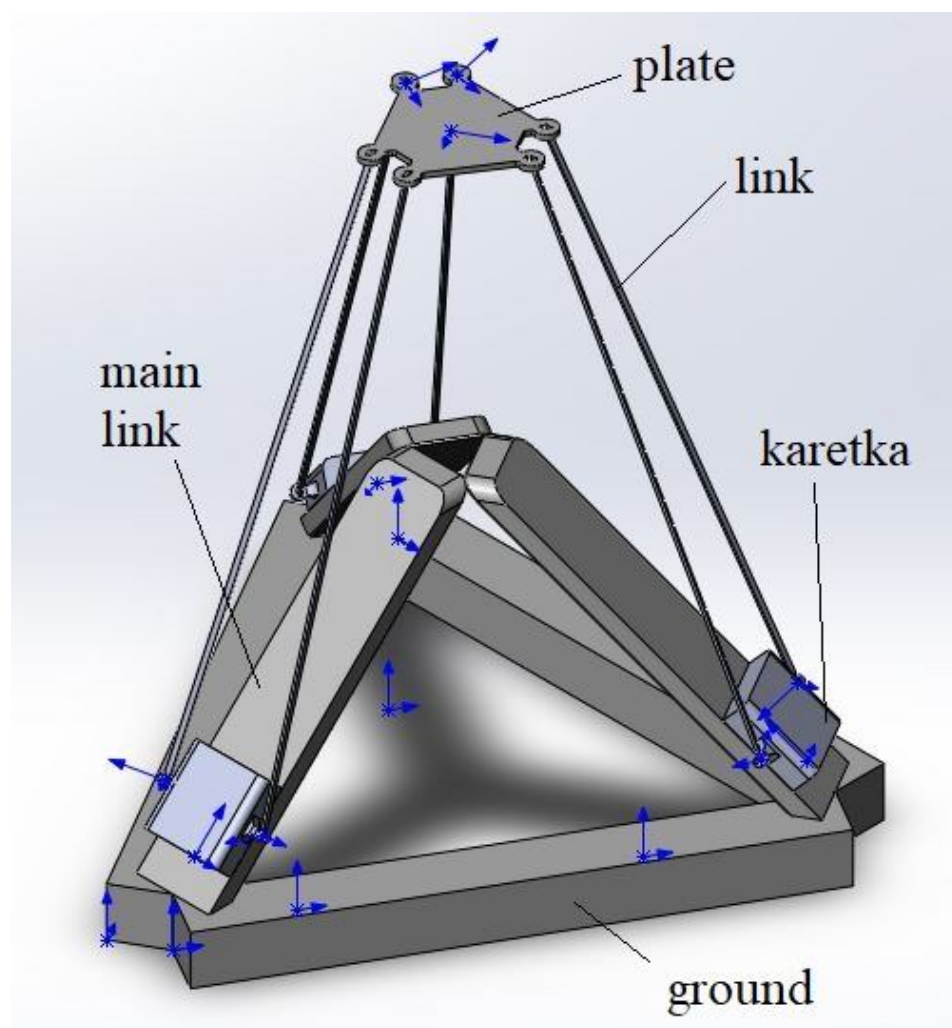


Рисунок 11 – общий вид объемной модели.

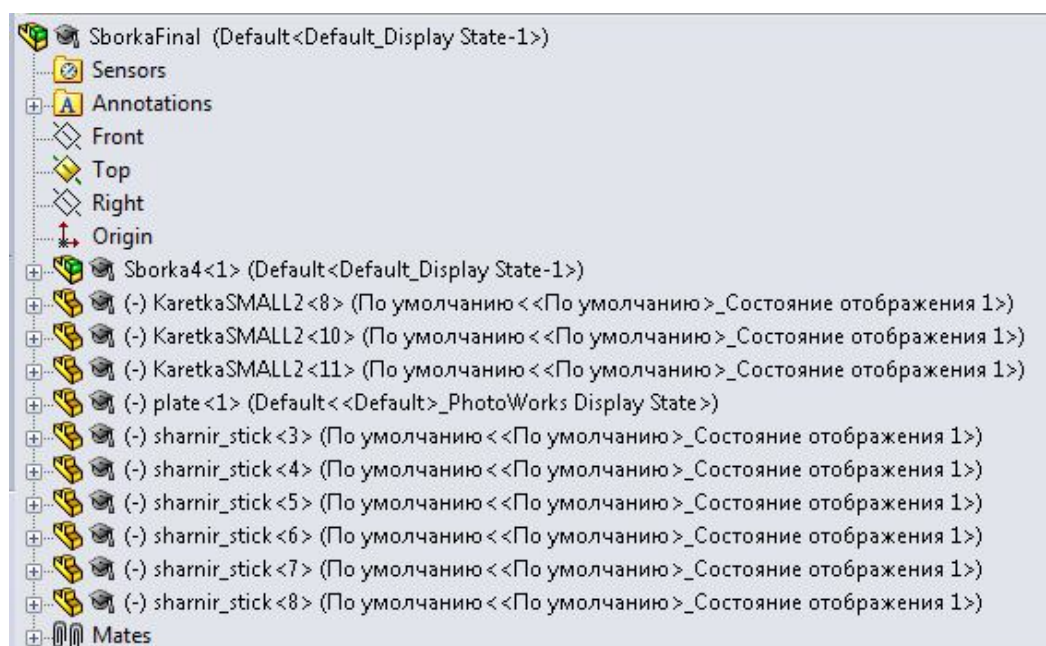


Рисунок 12 – древо построения объемной модели.

Сначала были построены балки основания и направляющие. В сборке с помощью функции сопряжения основание и направляющие были соединены в неподвижную конструкцию (рис. 13).

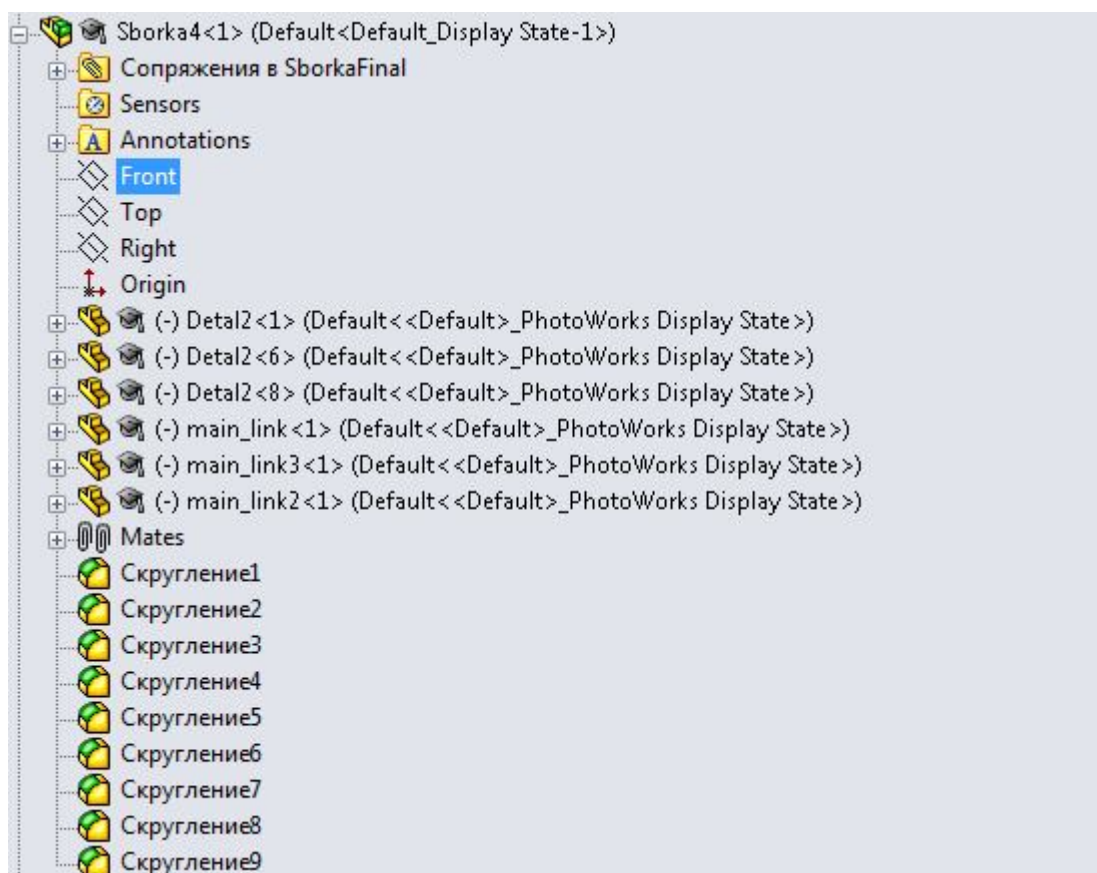


Рисунок 13 – дерево построения сборки основания с направляющими.

После этого были построены три каретки, являющиеся параллелепипедами со скруглениями верхних кромок. На каретках находятся крепления для сферического шарнира с пазами, имеющие внутри сферическую поверхность. Они сделаны для закрепления у каждой каретки по два тонких стержня (рис. 14).

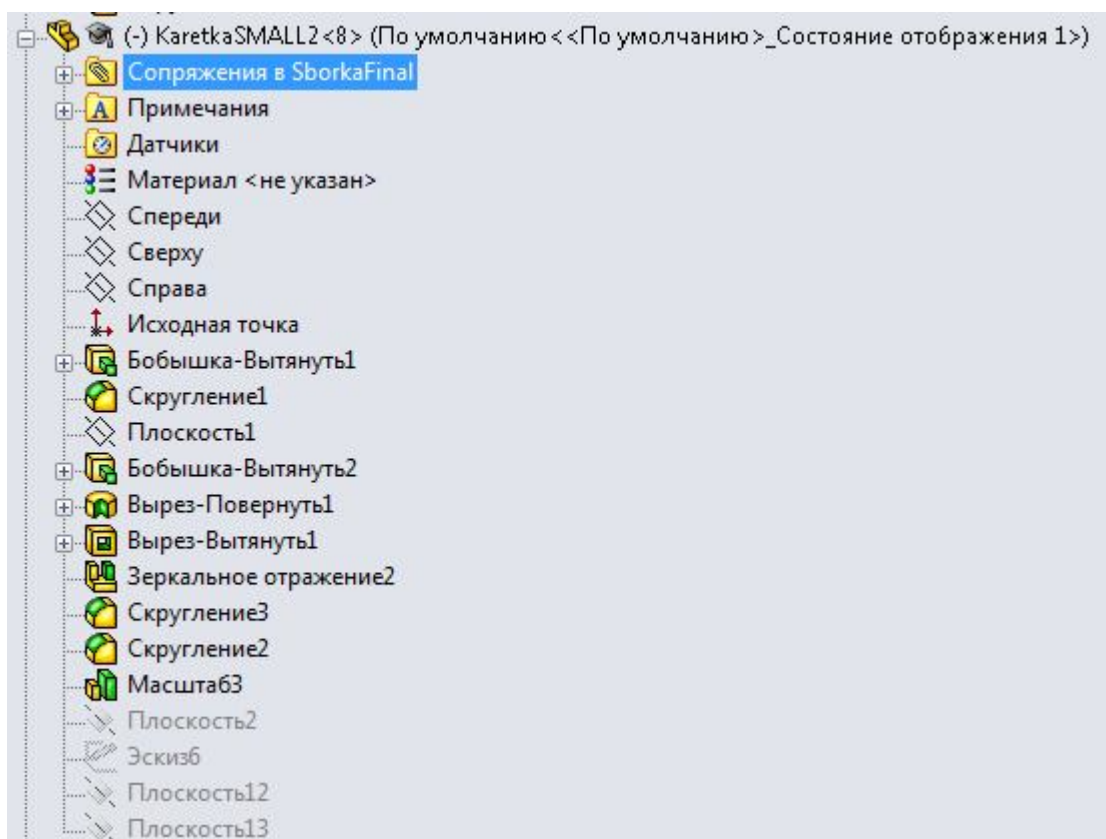


Рисунок 14 – дерево построения каретки.

Стержни представляют тонкие длинные цилиндры, имеющие на обоих концах обрезанные с двух сторон сферы того же диаметра, что и сферические отверстия в каретках (рис. 15).

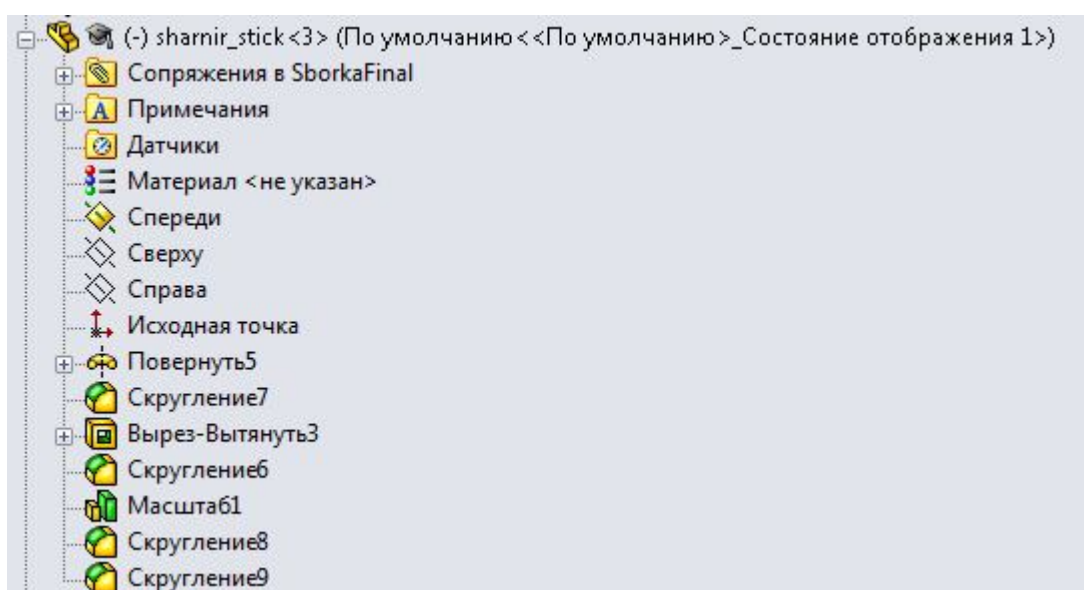


Рисунок 15 – дерево построения стержня.

Платформа была построена с помощью вытягивания и к ней аналогично кареткам закрепили 6 креплений для сферических шарниров. Стержни с помощью сопряжения вставили в пазы, расположенные на каретках и платформе. А каретки сопрягли с направляющими балками, тем самым задав поступательное движение каретки вдоль направляющих.

Как видно, объемная модель имеет намного меньше элементов конструкции, чем стержневая модель. Так, например, в ней нет элементов `plate_link` и `link`, потому что они для соединения со стержнями заменены на крепления для сферических шарниров.

## **2.2 Приложение граничных условий**

На рисунках показаны шарниры, используемые для связи движения каретки “`karetka`” и платформы “`plate`” через стержни “`link`”.

Стержни связаны с остальными частями системы при помощи сферических шарниров, так как такое количество степеней свободы позволят устанавливать положение платформы по высоте, но и поворачивать ее (рис. 16 и 17). Поступательные же шарниры были выбраны потому, что каретки движутся по направляющим только по одному направлению.

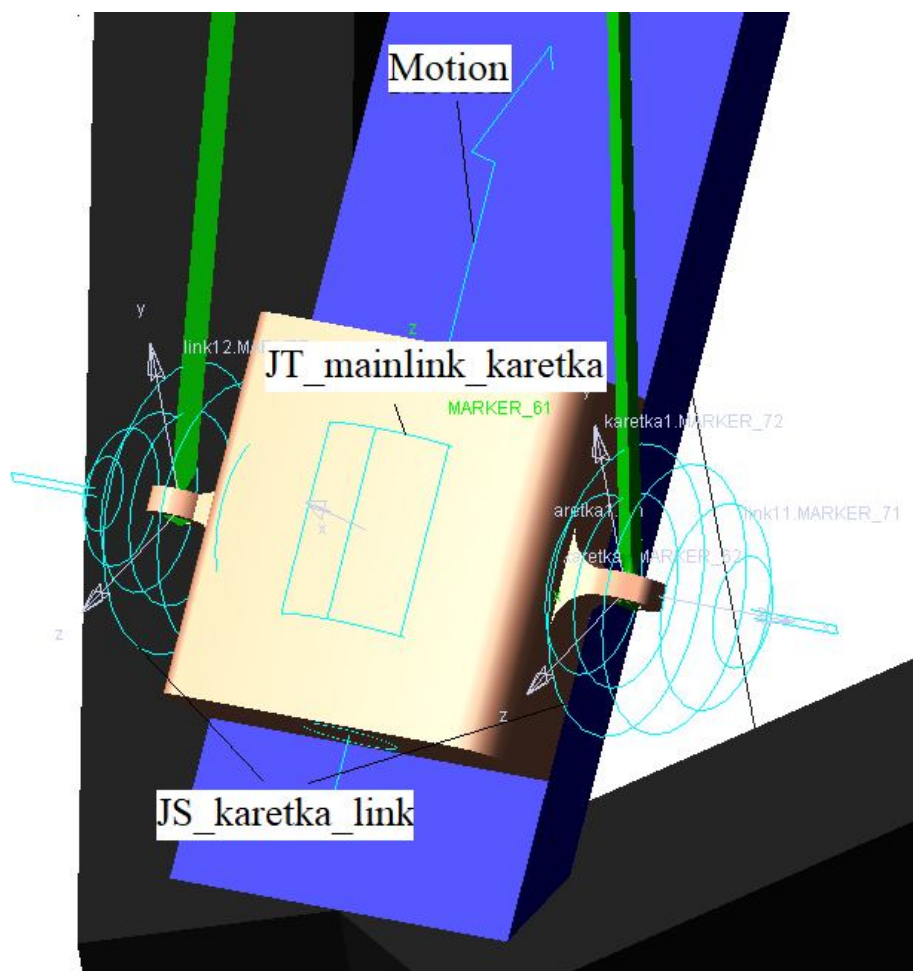


Рисунок 16 – вид каретки с шарнирами.

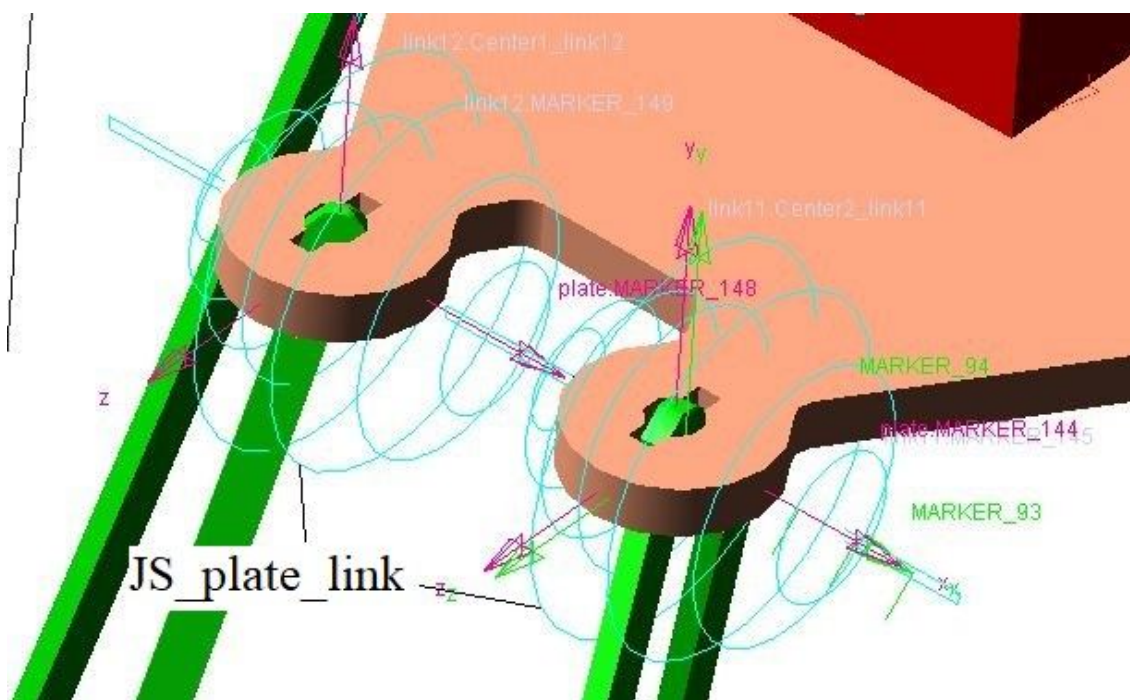


Рисунок 17 – вид платформы с шарнирами.

Для системы был выбран закон движения, когда все каретки сначала перемещаются вверх по направляющим и перемещают платформу вверх, а после одна из них перемещается вниз, из-за чего платформа поворачивается.

Для двух кареток закон движения выглядит следующим образом:

$\text{STEP}(\text{time}, 0, 0, 1.5, -3)$ .

Для третьей:

$\text{STEP}(\text{time}, 0, 0, 1.5, -3) + \text{STEP}(\text{time}, 1.5, 0, 3, 0.3)$ .

Такой закон движения приводит в работу на систему следующим образом: когда платформа находится в нижнем положении, на неё устанавливается груз. Затем все каретки на протяжении 1,5 с совместно движутся вверх, поднимая груз на заданную высоту, сами перемещаясь на 3 мм вдоль направляющих. После этого две каретки остаются неподвижными, а третья, двигаясь вниз до  $t = 3$  с, наклоняет платформу на заданный угол, сама перемещаясь на 0,3 мм вдоль своей направляющей.

### 2.3 Кинематический расчёт модели

Для расчета на платформу был помещен груз с массой 58 гр для более реального представления работы системы (рис. 18).

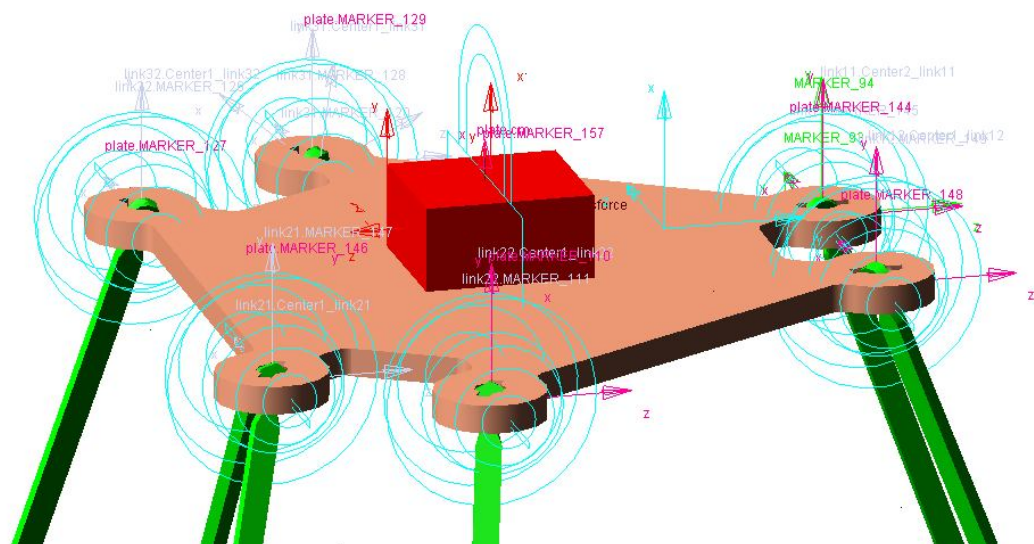


Рисунок 18 – вид платформы с грузом.

Расчет модели был проведен с помощью Interactive Simulation Controls, где время было выбрано равным 5с, а число шагов – 5000. Вид начального положения модели представлен на рисунке 19, а конечного – на рисунке 20.

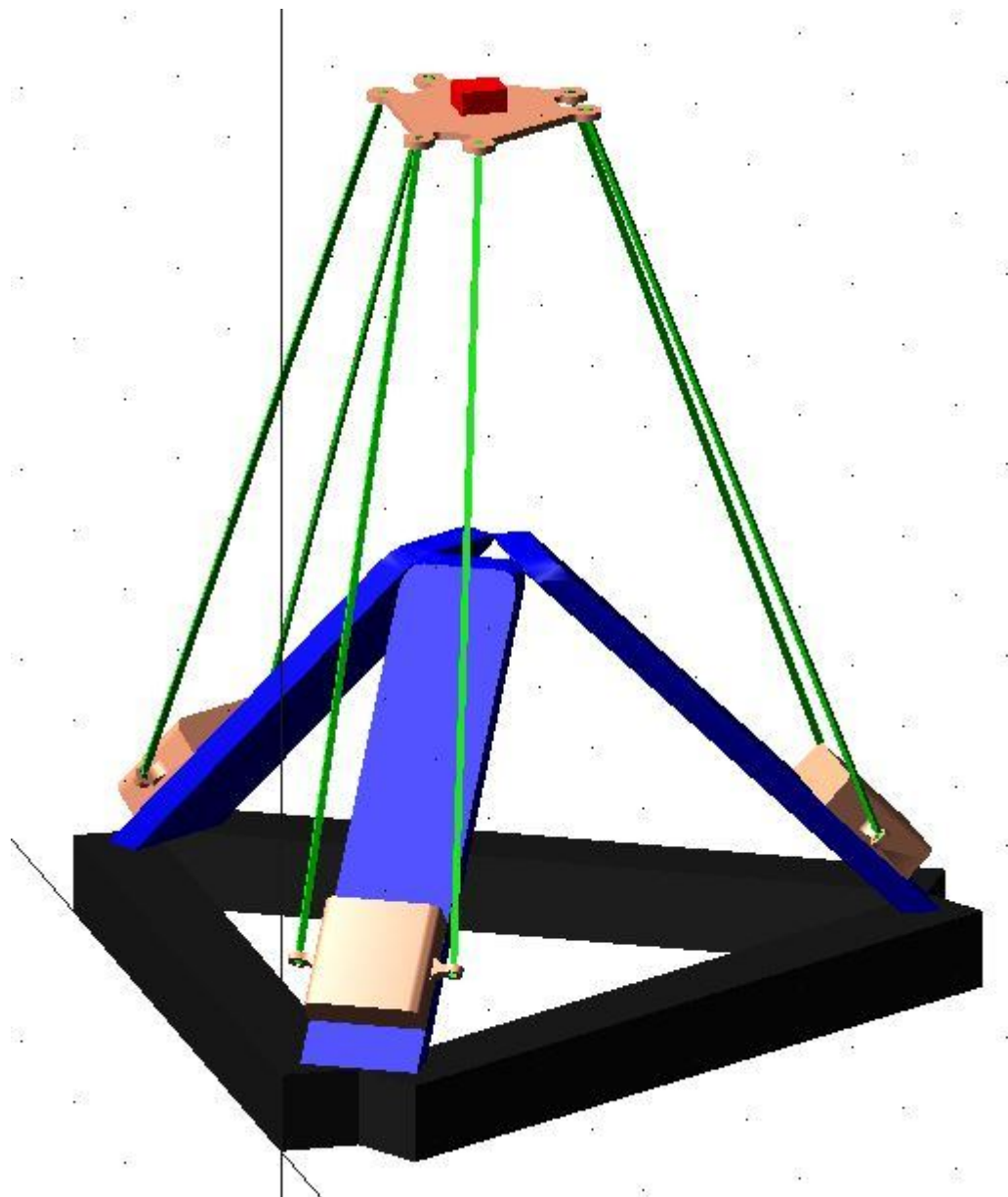


Рисунок 19 – вид модели в начальном положении.

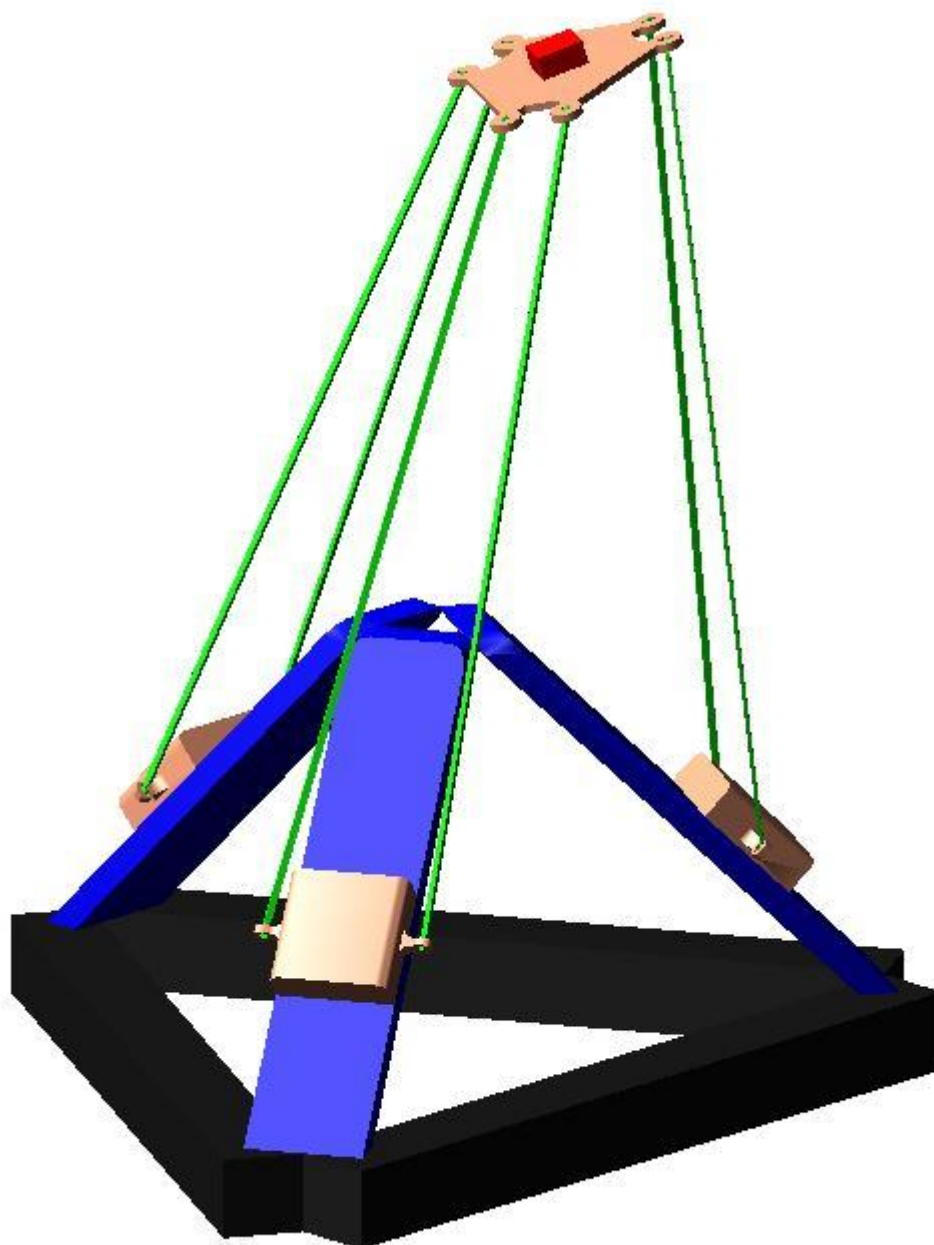


Рисунок 20 – вид модели в конечном положении.

Из расчета модели были получены графики перемещения, скорости и ускорения платформы (рис. 21, 23, 25), график угла наклона платформы (рис. 27), графики перемещения, скорости и ускорения кареток, одна из которых движется только вверх, а другая движется вверх, а после отъезжает вниз (рис. 22, 24, 26), графики сил в генераторах движения, управляющих кареткой (рис. 28) и сил реакции в сферическом шарнире, связывающем каретку и стержень (рис. 29).

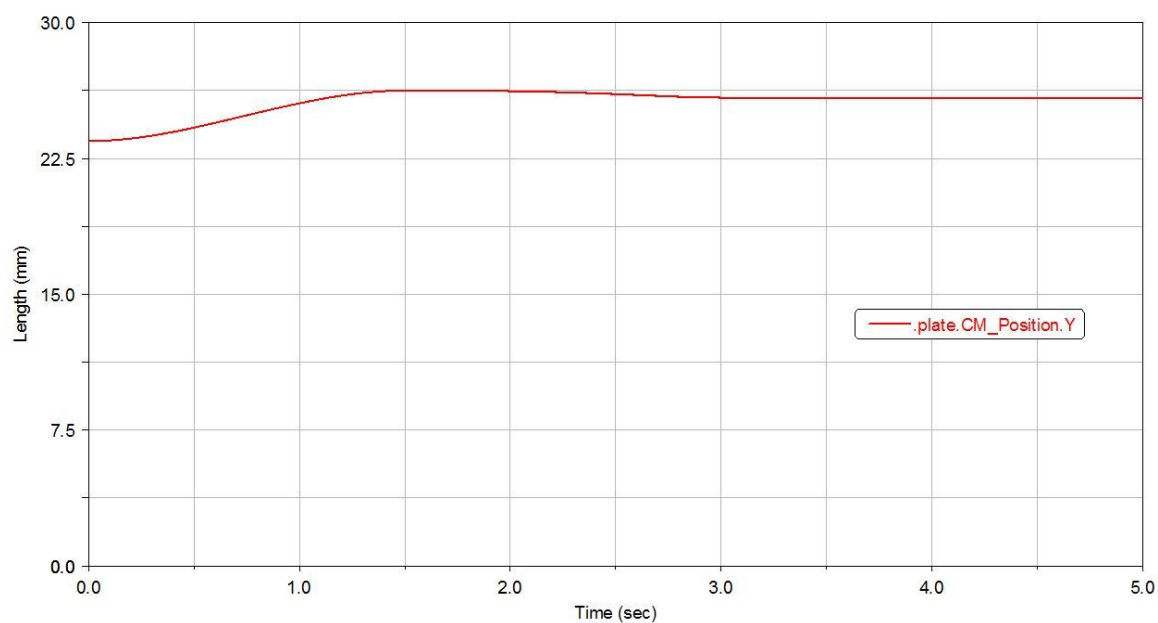


Рисунок 21 – График перемещения от времени платформы вдоль вертикальной оси.

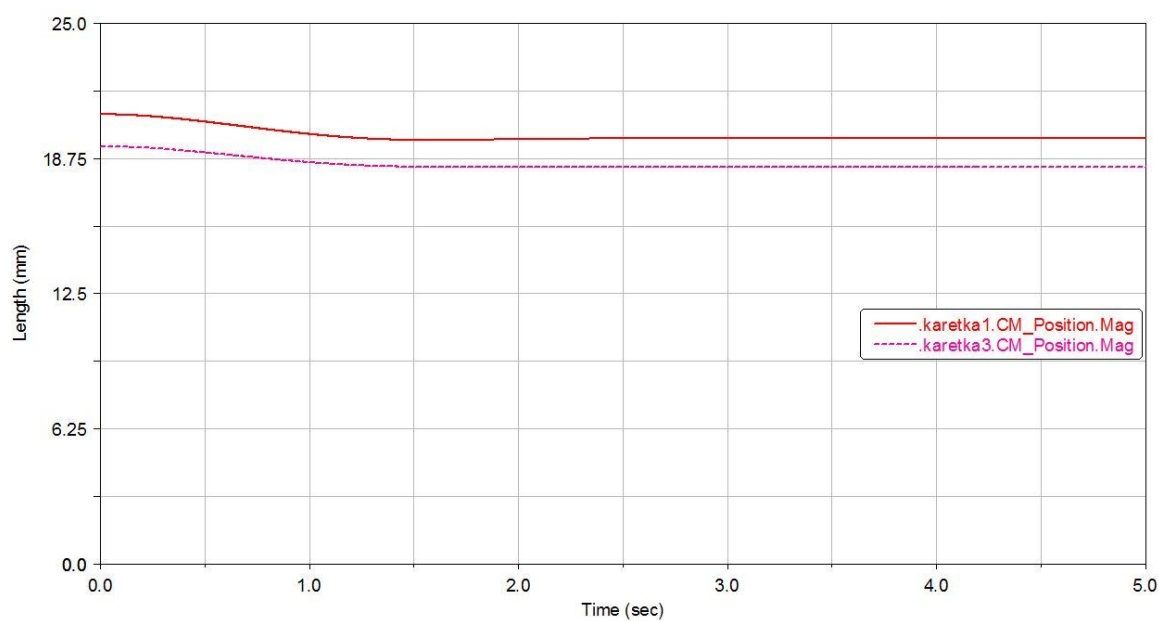


Рисунок 22 – График перемещения кареток, где karetk1 – каретка, которая движется вверх, а потом вниз, karetk3 – каретка, движущаяся только вверх.

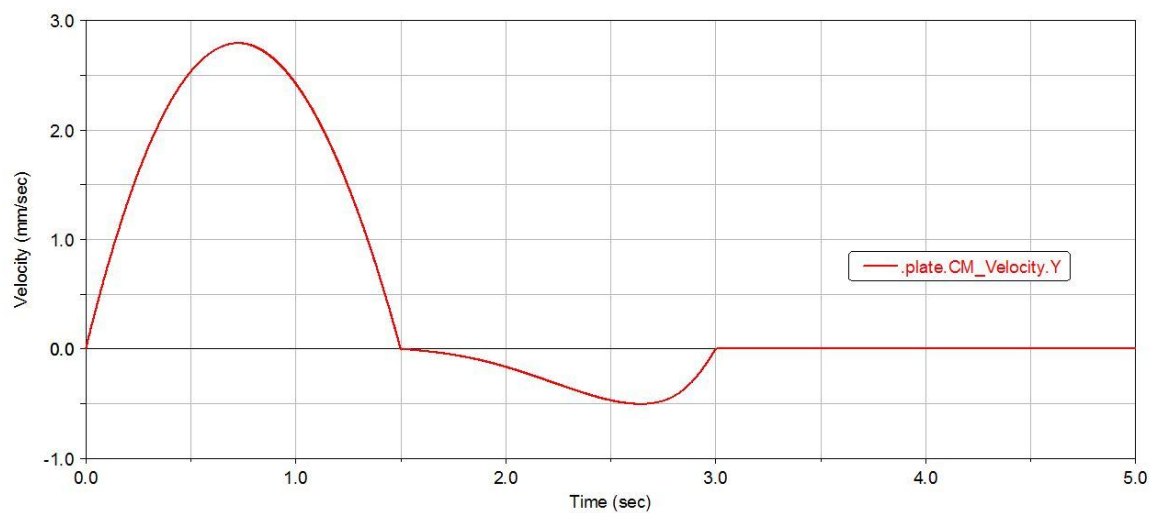


Рисунок 23 – График скорости платформы.

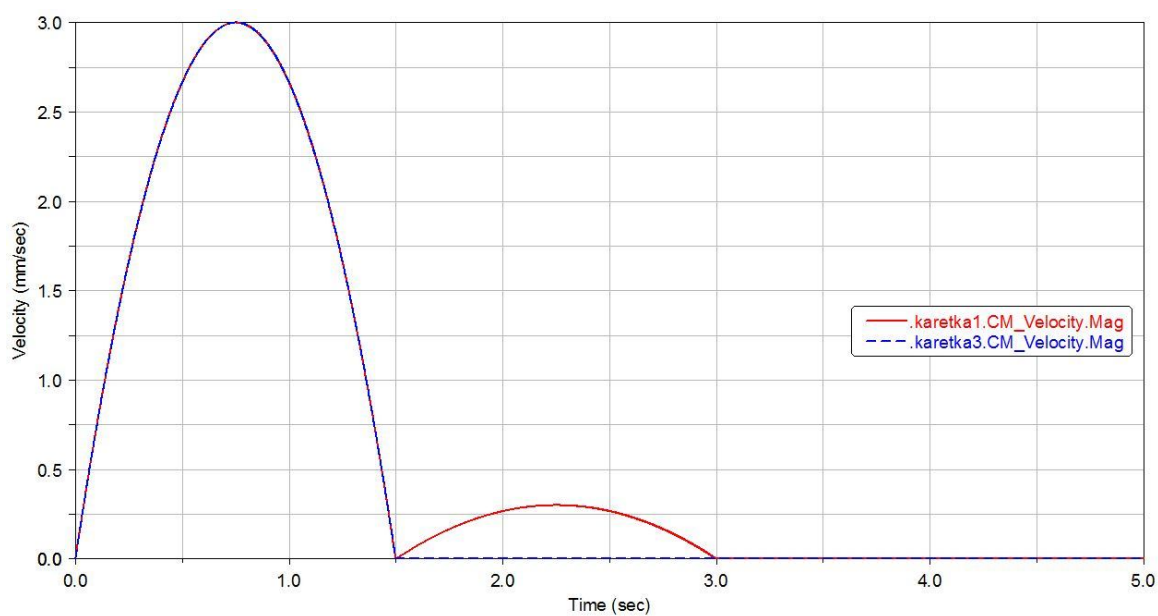


Рисунок 24 – График скорости кареток.

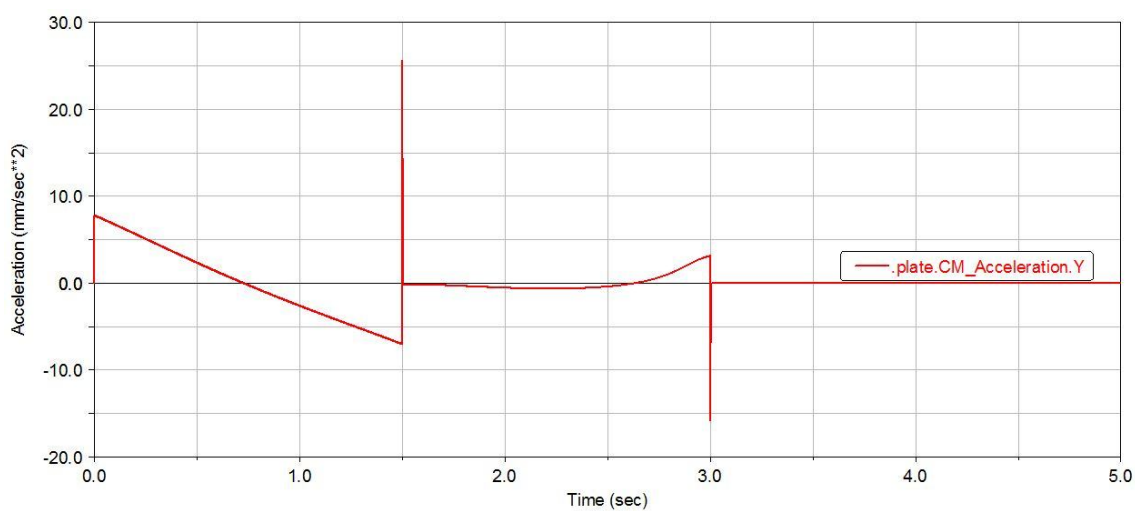


Рисунок 25 – График ускорения платформы.

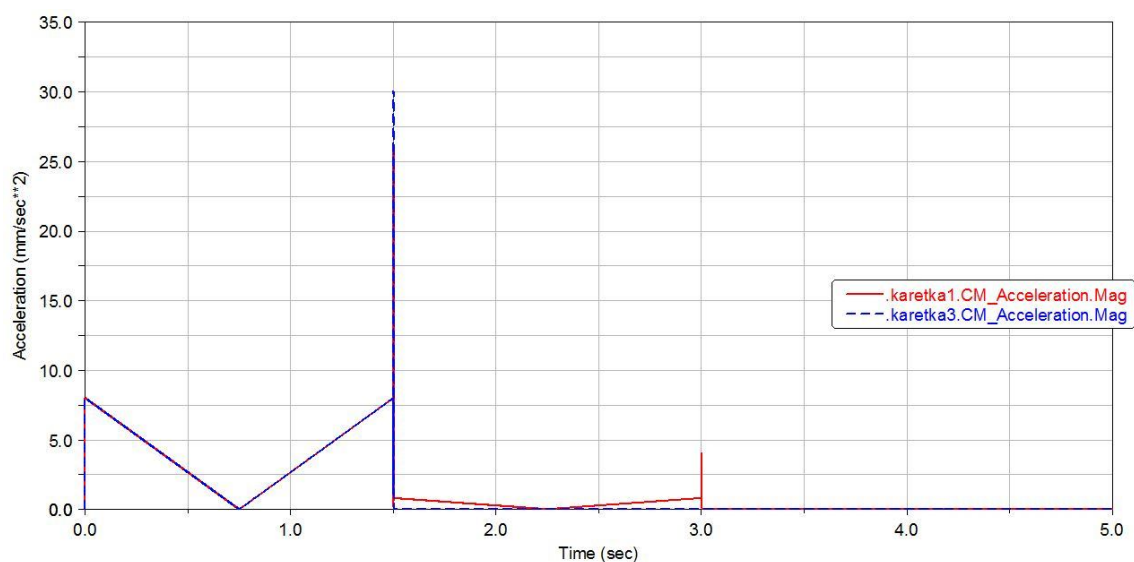


Рисунок 26 – График ускорения кареток.

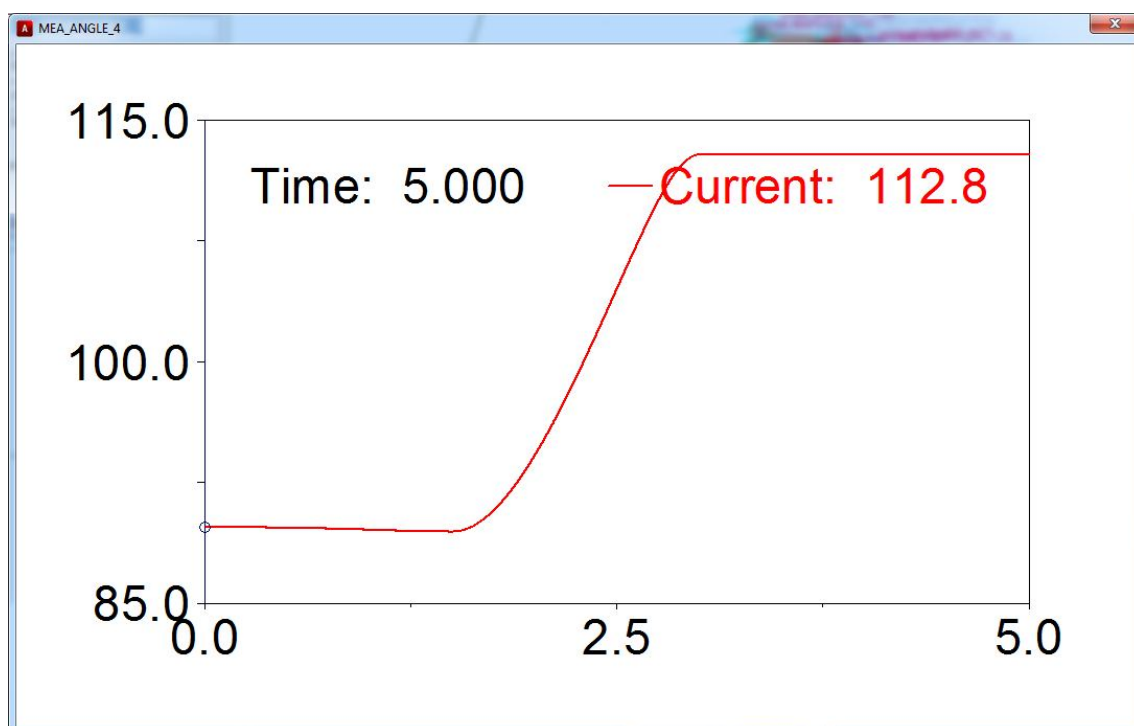


Рисунок 27 – График угла наклона платформы.

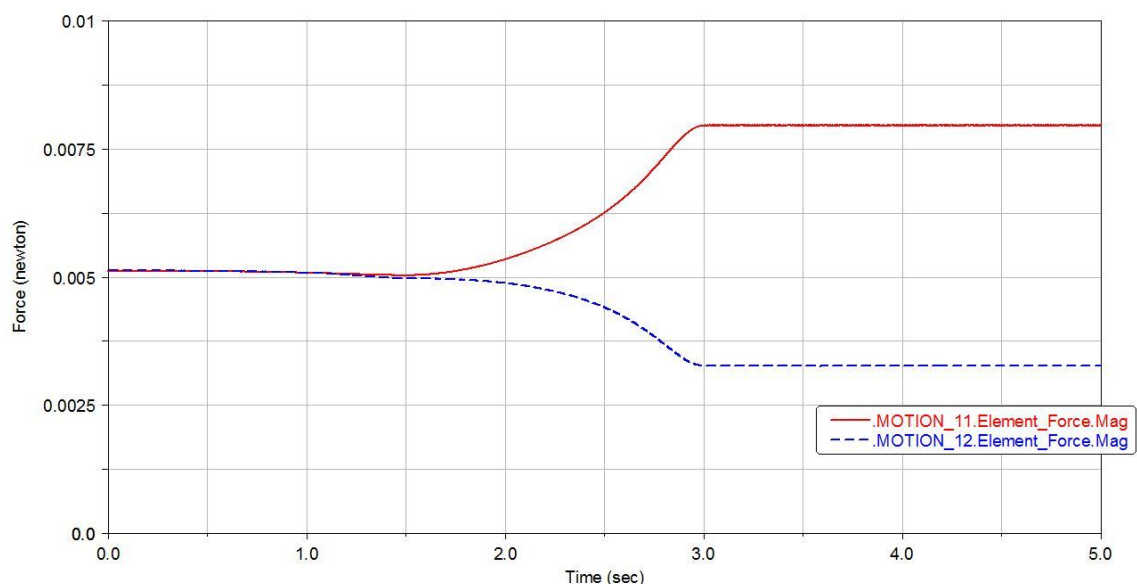


Рисунок 28 – График сил от генераторов движения, где motion11 – генератор движения karetkal, motion12 – генератор движения karetkaz.

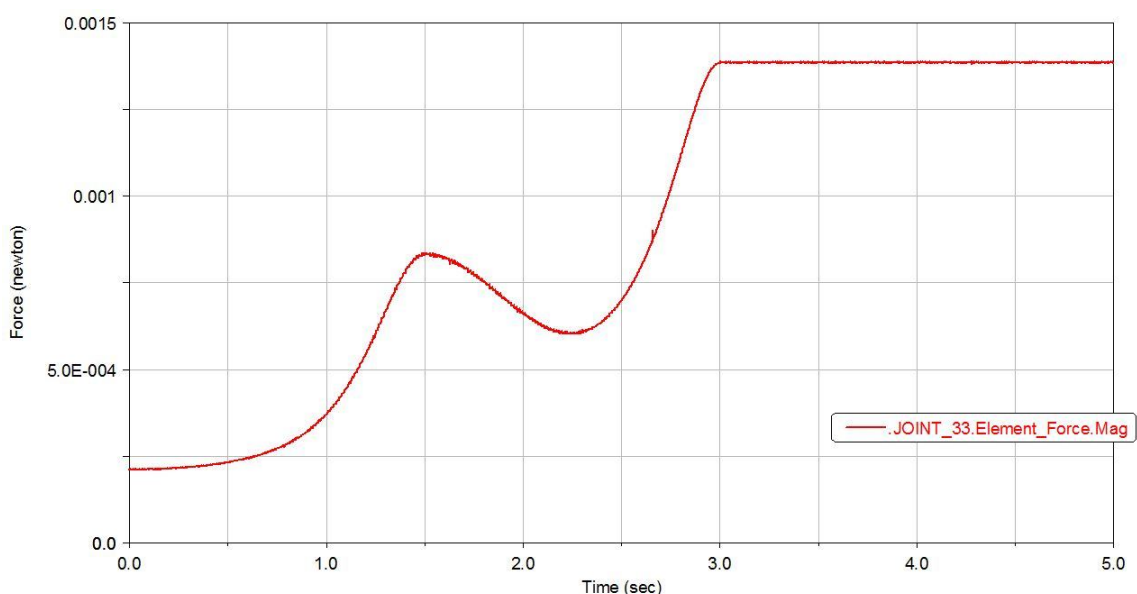


Рисунок 29 – График сил реакции в сферическом шарнире, связывающем каретку и стержень.

На рисунке 22 показаны графики перемещения кареток (ведущих звеньев), которые меняют положение платформы (ведомого звена), график которого показан на рисунке 21. В начальный момент времени, когда каретки только начинают движение, видим небольшие участки запаздывания. Они появляются потому, что нарастание скорости довольно плавное, а изменения величины перемещения малы ввиду небольшого размера системы и перемещения самих кареток вдоль направляющих. На графиках скорости не

наблюдается каких-либо колебаний, скорость платформы начинает изменение одновременно с изменениями скорости кареток. Графики ускорения имеют резки пики из-за законов движения (начало движения в момент  $t = 0$  секунд, остановка движения для двух кареток в момент  $t = 1,5$  с и остановка движения третьей каретки в момент  $t = 3$  с). График же угла наклона показывает, что даже при малых перемещениях одной из кареток, угол наклона платформы значительно изменяется.

Из графика на рисунке 28 видим, какие усилия требуются для заданного перемещения кареток. После момента  $t = 1,5$  с сила от генератора, действующего на движущуюся каретку, возрастает, а сила от генератора, действующего на неподвижную каретку, уменьшается, в момент  $t = 3$  с, когда вся система остается в неподвижном состоянии, силы всё еще действуют на каретки, но не изменяются во времени. Сила реакции в сферическом шарнире при непрерывно перемещающейся до момента  $t = 3$  с каретке увеличивается при ее движении вверх, спадает с уменьшением ускорения каретки и возрастает с ее увеличением.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были созданы стержневая и объёмная кинематические модели промышленного робота. В ходе расчёта получены:

- анимация работы модели;
- силы реакции в связях;
- зависимости кинематических параметров выходного звена (платформы) от входного звена (каретки).

При построении модели были созданы четыре кинематические группы, 12 сферических шарниров, 3 поступательных, 7 замков. Для расчёта были заданы три закона движения, а для груза была задана масса 58 гр.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мелентьев, В. С., Гвоздев, А. С. Основы кинематического и динамического моделирования в MSC.ADAMS: метод. указания. Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 48 с.: ил.
2. Поляков, К.А. Создание виртуальных моделей в пакете прикладных программ ADAMS: Учебное пособие. Самара: Изд-во «Самарский университет», 2003. 88 с.
3. Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. Руководство для учащихся по изучению программного обеспечения SolidWorks: учебное пособие, 1995-2010. 156 с.
4. Гвоздев, А. С. Изучение конструкции авиационных двигателей и энергетических установок с совместным использованием пакетов ANSYS, ADAMS и SolidWorks [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / А. С. Гвоздев, В. С. Мелентьев; М-во образования и науки РФ, Самар, гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). Самара, 2013. 49 с.