

Для тестового примера рассмотрим случай нахождения положения (координаты x, y, z) и ориентации (углы φ, θ, ψ) подвижной площадки платформы относительно абсолютной (неподвижной) системы координат $OXYZ$ для заданных углов поворота $\sigma_1, \sigma_2 \dots, \sigma_6$ подвижных элементов (валов) шести приводов. Зададим следующие входные данные: $\sigma_1 = 85, 92^\circ, \sigma_2 = 100, 32^\circ, \sigma_3 = 69, 29^\circ, \sigma_4 = 76, 23^\circ, \sigma_5 = 72, 20^\circ, \sigma_6 = 66, 67^\circ$. Зададимся вектором начальных значений поиска решений $(x_0, y_0, z_0, \varphi_0, \theta_0, \psi_0)$, где величины $x_0, y_0, z_0, \varphi_0, \theta_0, \psi_0$ определяют начало поиска решений (точку спуска). Примем $x_0 = 70$ мм, $y_0 = 50$ мм, $z_0 = 370$ мм, $\varphi_0 = 2^\circ, \theta_0 = 4^\circ, \psi_0 = 3^\circ$.

Выходом из данной ситуации служит разработанный и реализованный в данной программе подход последовательных решений, в соответствии с которым, решение предыдущего этапа прямой задачи (значения искомым переменных $x, y, z, \varphi, \theta, \psi$) является входной начальной точкой спуска итерационного процесса нахождения новых конечных решений $x, y, z, \varphi, \theta, \psi$ для следующих значений $\sigma_1, \sigma_2 \dots, \sigma_6$. Как показывают результаты, такой подход имеет существенное преимущество при моделировании перемещений платформы манипуляционного механизма для плавно изменяющихся значений углов поворота управляющих валов двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Ahranovich, S. Karpovich, K. Zimmermann, J. Zentner Multicoordinate Positioning System for Industrial Equipment Design Method // Proceedings of 51st International Scientific Colloquium Ilmenau (Germany), September 11-15, 2006 TU-Ilmenau, 2006. - p.139-140.
2. Русецкий А.М. Координатные позиционеры гибких производственных систем для электронного машиностроения. – Мн.: Военная академия РБ, 1998. – 177 с.
3. Межинский Ю.С. Построение систем перемещений для гибкого автоматизированного оборудования. – Минск: Технопринт, 2002. – 120 с.
4. Карпович С.Е., Жарский В.В., Ляшук Ю.Ф., Межинский Ю.С. Прецизионные координатные системы на основе электропривода прямого действия. – Минск: ГНПКТМ «Планар», 2001. – 198 с.

УДК 621.313.84

Карпович С.Е., Поляковский В., Жарский В.В., Агранович А.А.

АНАЛИЗ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ КОЛЛИЗИЙ ПЛАНАРНЫХ ПОЗИЦИОНЕРОВ В СИСТЕМЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ТРИПЛАНАР

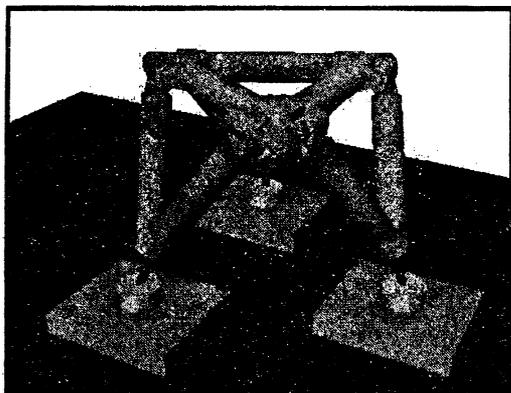
*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в станках с ЧПУ, промышленных роботах, автоматизированном измерительном и спецтехнологическом оборудовании все чаще используются параллельные манипуляционные системы (ПМС), которые характеризуются высокой структурной жесткостью, повышенными кинематическими и динамическими свойствами, хорошими массогабаритными показателями. К такому классу механизмов относится рассматриваемый в настоящей статье Трипланар [1], созданный совместными усилиями технического университета г. Ильменау (Германия), БГУИР (Минск) и СП Рухсервомотор (Минск).

Трипланар представляет собой ПМС в виде раскрывающегося тетраэдра (рис. 1,а), верхние ребра которого определяют подвижный треугольник (исполнительный элемент), с которым жестко связывается рабочая платформа с инструментом или заготовкой. Верхние ребра представляют собой шарнирные соединения, нижние выполнены таким образом, что

нижние вершины боковых треугольников могут быть связаны с тремя планарными приводами посредством сферических шарниров. Рабочая платформа механизма обладает шестью степенями свободы за счет независимого плоскопараллельного перемещения трех планарных приводов. В качестве датчиков обратной связи в планарных приводах ПМС Трипланар используются датчики на основе эффекта Холла.



а



б

Рисунок 1- Внешний вид и уровни системы управления Трипланар

Систему управления Трипланар можно представить состоящей из пяти уровней. Каждый уровень системы управления базируется на более низком уровне, используя для обработки информацию с этого уровня. Структурная блок-схема, дающая представление об иерархии системы управления ТриПланар, представлена на рис. 1,б.

Самыми низкими подуровнями в иерархии системы управления являются датчик Холла и система измерения, включающая аппаратные или программные фильтры, а также другие средства обработки сигнала датчика с целью получения достоверной информации о положении каждого из трех подвижных двухкоординатных планарных позиционеров. Под алгоритмом управления понимается регулятор системы управления отдельным приводом, это может быть ПИД-регулятор, регулятор на основе фильтра Гизекина [3] или другой, обеспечивающий необходимые динамические и точностные характеристики исполнительного механизма.

Интерфейс пользователя необходим для взаимодействия пользователя с системой управления и облегчения ввода управляющей информации для системы управления. Подсистема, реализующая построение программных движений, связывает интерфейс пользователя с остальными уровнями.

РАСЧЁТНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОЛЛИЗИЙ ДЛЯ ТРЁХ ПЛАНАРНЫХ ЛШД НА ОДНОМ СТАТОРЕ

Расчетная модель системы перемещения построенная на трех планарных ЛШД, в дальнейшем называемых координатными позиционерами КП1, КП2 и КП3 показано на рис.2.

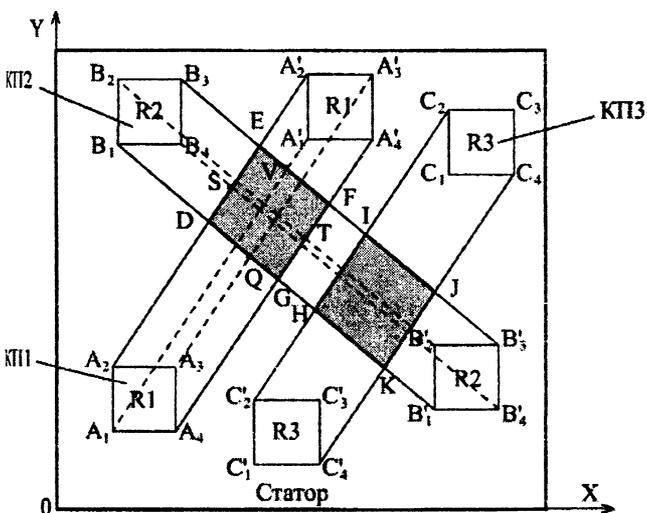


Рисунок 2 - Расчетная модель анализа коллизий трех планарных позиционеров на одном статоре

Внешний прямоугольный контур, показанный на рис.2, определяет рабочую зону на статоре, выход за границы которой в процессе перемещения позиционеров не возможен. Прямоугольники $A_1A_2A_3A_4$, $B_1B_2B_3B_4$ и $C_1C_2C_3C_4$ определяют область, которую в начальный или в данный момент времени занимают соответственно КП1, КП2 и КП3. Квадратные, а в

общем случае прямоугольные области позиционеров, это по сути дела их проекции на рабочую плоскость статора. Прямоугольники $A_1A_2A_3A_4$, $B_1B_2B_3B_4$ и $C_1C_2C_3C_4$ определяют геометрическое место конечного положения соответственно КП1, КП2 и КП3.

Предполагается, что проекции инструмента, в общем случае инструментальных роботов R1, R2, R3, установленных соответственно на КП1, КП2 и КП3, не выходят за контуры площади позиционера.

В дальнейшем в работе будет рассматриваться геометро-кинематический анализ движения трех планарных позиционеров на одном статоре при их линейном перемещении между соответствующими двумя точками с постоянной скоростью [2]. Геометрически зоны перемещения позиционеров в работе принято описывать их так называемыми шлейфами, которые представляют собой геометрическую область, в которой осуществляется движение позиционера при переходе из начального положения в конечное. Так, для позиционера КП1 в соответствии с рис.2 шлейфом является фигура в виде шестиугольника $A_1A_2A_2'A_3A_4A_4'$. Геометрическая область, образованная пересечением шлейфов позиционеров является зоной, в которой возможно столкновение позиционеров (общая зона). Так, для КП1 и КП2 общей зоной является четырехугольник DEFG.

Из анализа расчетной модели следует, что при совместном движении координатных позиционеров КП1, КП2 и КП3 возможны различные ситуации:

коллизии в одновременном движении позиционеров полностью отсутствуют, когда шлейфы движения, построены по начальным и конечным положениям позиционеров не пересекаются;

коллизии в движении позиционеров возможны, если шлейфы пересекаются. В этом случае для бесколлизийного движения позиционеров необходимо формировать и обеспечивать при движении необходимые условия, построенные на правиле приоритетов, устанавливающим очередность вхождения позиционеров КП1, КП2 и КП3 для каждой пары позиционеров в их общую зону;

особые случаи коллизий, которые включают критические зоны, возникающие при некоторых частных конфигурациях, при которых полное движение позиционеров от начальной до конечной точки не возможно, или возможно при особых условиях.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ АНАЛИЗА И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОЛЛИЗИЙ ТРЕХ ПЛАНАРНЫХ ЛШД НА ОДНОМ СТАТОРЕ ПРИ ИХ РАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ

Разработанный алгоритм основан на том, что каждый позиционер представляется его проекцией на плоскость статора в виде геометрического места, ограниченного подвижным четырехугольником.

Не нарушая общности решения поставленной задачи по предотвращению коллизий, нами разработан и реализован алгоритм анализа коллизий трех планарных позиционеров КП1, КП2 и КП3, имеющих форму квадрата с длиной стороны L, при их прямолинейном движении между начальными и конечными положениями.

Параметрические уравнение перемещения любой точки позиционера в выбранной системе координат X0Y (рис.2) имеют вид:

$$\begin{cases} x = x_0 + v_x t, \\ y = y_0 + v_y t, \end{cases} \quad (1)$$

где $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ - скорость позиционера на траектории в виде прямой.

При этом уравнение траектории будет иметь вид:

$$y = k \cdot x + b, \quad (2)$$

где $k = \operatorname{tg} \varphi = \frac{v_x}{v_y}$ - угловой коэффициент траектории движения.

Если задана начальная и конечная точки перемещения, то постоянные параметры прямой (2) рассчитываются по формулам:

$$k = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}, \quad b = y_0 - \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} x_0, \quad (3)$$

где x_0, y_0 координаты начальной точки перемещения; x_1, y_1 - координаты конечной точки перемещения.

В этом случае значения v_x и v_y будут определяться по формулам:

$$\begin{cases} v_x = v \cdot \cos\varphi \\ v_y = v \cdot \sin\varphi, \end{cases} \quad (4)$$

где

$$\begin{cases} \arctg\left(\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}\right), \text{ если } y_1 - y_0 \geq 0, \\ 180 + \arctg\left(\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}\right), \text{ если } y_1 - y_0 < 0. \end{cases} \quad (5)$$

Таким образом, по заданным начальным и конечным точкам движения позиционеров однозначно определяем уравнения их траекторий.

Так, для позиционера КП1 уравнение траектории будет иметь вид:

$$y = k_1 \cdot x + b_1, \quad (6)$$

где коэффициенты k_1 и b_1 определяются по формулам (3).

Это уравнение можно записать в параметрической форме:

$$\begin{cases} x = x_0^{(1)} + v_x^{(1)} t, \\ y = y_0^{(1)} + v_y^{(1)} t, \end{cases} \quad (7)$$

где $v_x^{(1)}$ и $v_y^{(1)}$ определяются по формуле (4).

Аналогичные выражения можно записать и для траекторий перемещений позиционеров КП2 КП3.

Как следует из рис.2, областью, в которой возможно столкновение позиционеров является геометрическое место пересечения их шлейфов движения. Так, общей зоной для позиционеров КП1 и КП2 является четырехугольник DEFG, для КП2 и КП3 – HIJK. При движении позиционеров производится анализ их местоположения относительно этих участков. При этом алгоритм построен таким образом, что при нахождении одного из позиционеров в общей зоне другому вход в нее запрещен. Далее алгоритм анализа и предотвращения коллизий рассмотрим на примере движения позиционеров КП1 и КП2.

Для позиционера КП1 точкой входа в запрещенную зону является точка Q, точкой выхода – точка V. Позиционер КП2 входит в запрещенную зону в точке S и выходит в точке T. Координаты этих точек определяются из следующих выражений:

$$X_S = \frac{b_{B_4 B'_4} - b_{A_2 A'_2}}{k_1 - k_2}, \quad Y_S = \frac{b_{B_4 B'_4} - b_{A_2 A'_2}}{k_1 - k_2} \cdot k_1 + b_{A_2 A'_2}; \quad (8)$$

$$X_T = \frac{b_{B_2 B'_2} - b_{A_4 A'_4}}{k_1 - k_2}, \quad Y_T = \frac{b_{B_2 B'_2} - b_{A_4 A'_4}}{k_1 - k_2} \cdot k_1 + b_{A_4 A'_4}; \quad (9)$$

$$X_Q = \frac{b_{A_3 A'_3} - b_{B_1 B'_1}}{k_2 - k_1}, \quad Y_Q = \frac{b_{A_3 A'_3} - b_{B_1 B'_1}}{k_2 - k_1} \cdot k_2 + b_{B_1 B'_1}; \quad (10)$$

$$X_V = \frac{b_{A_1 A'_1} - b_{B_3 B'_3}}{k_2 - k_1}, \quad Y_V = \frac{b_{A_1 A'_1} - b_{B_3 B'_3}}{k_2 - k_1} \cdot k_2 + b_{B_3 B'_3}; \quad (11)$$

где C_s, Y_s - координаты точки S_T , X_T, Y_T - координаты точки T ; X_Q, Y_Q - координаты точки Q ; X_V, Y_V - координаты точки V ; $b_{A_1A_1}, b_{A_2A_2}, b_{A_3A_3}, b_{A_4A_4}, b_{B_1B_1}, b_{B_2B_2}, b_{B_3B_3}, b_{B_4B_4}$ - постоянные параметры реализуемой прямолинейной траектории, выражаемые через прямые $A_1A_1, A_2A_2, A_3A_3, A_4A_4, B_1B_1, B_2B_2, B_3B_3, B_4B_4$ соответственно.

k_1, k_2 - угловые коэффициенты реализуемой прямолинейной траектории позиционеров КП1 и КП2 соответственно.

При разработке алгоритма принято следующее правило приоритетов: преимущество при движении имеет тот позиционер, который первым войдет в общую зону. Для определения моментов времени, в которые позиционеры войдут в общую зону, используем следующие соотношения:

$$t_{1in} = \frac{\sqrt{(X_Q - X_O)^2 + (Y_Q - Y_O)^2}}{V_1}, \quad t_{2in} = \frac{\sqrt{(X_S - X_M)^2 + (Y_S - Y_M)^2}}{V_2}, \quad (12)$$

где x_0, y_0 - координаты точки O , X_M, Y_M - координаты точки M ;

V_1, V_2 - скорость движения позиционеров КП1 и КП2 соответственно.

Сравнивая значения t_{1in} и t_{2in} , определяем позиционер, который имеет приоритет.

Предположим, что $t_{1in} < t_{2in}$. Тогда приоритет движения имеет позиционер КП1, т.е. он может двигаться без остановок.

Позиционер КП2 не может войти в общую зону пока в ней находится позиционер КП1. Момент времени, в который позиционер КП1 покинет общую зону определяется из следующего соотношения:

$$t_{1out} = \frac{\sqrt{(X_O - X_V)^2 + (Y_O - Y_V)^2}}{V_1}. \quad (13)$$

Если $t_{2in} < t_{1out}$, то позиционер КП2 должен остановиться на время

$$\Delta t = t_{out1} - t_{in2}. \quad (14)$$

В момент времени $t = t_{in2} + \Delta t$ позиционер КП2 может продолжить свое движение.

Аналогично производится расчет временных характеристик входа и выхода позиционеров КП1, КП2 и КП3 в другие общие зоны. Дальнейший совместный анализ этих временных характеристик позволяет формировать диаграмму движения $S(t)$ в виде графика перемещения соответствующего позиционера во времени.

ИНТЕРАКТИВНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ДВУХ ПЛАНАРНЫХ ЛШД НА ОДНОМ СТАТОРЕ

Представленный выше алгоритм был использован при разработке программы интерактивной визуализации бесколлизийного движения трех планарных позиционеров на одном статоре. Интерактивная визуализация была разработана в среде Macromedia Flash MX 2004.

Интерфейс разработанной программы представлен на рис.3.

Движение позиционеров А, В, С осуществляется в пределах прямоугольной рабочей зоны статора. Начальное и конечное положение позиционеров на статоре задается при помощи мыши. Для задания скорости позиционеров имеются специальные окна. В нижнем правом углу в реальном масштабе времени синхронно с перемещениями позиционеров отображаются их циклограмма движения, отражающая перемещение позиционеров относительно их начальной точки движения.

Интерактивная работа пользователя с программой визуализации осуществляется в такой последовательности:

- пользователь задает скорости движения позиционеров;

- устанавливает с помощью мыши начальные и конечные положения позиционеров А, В, С на рабочем поле статора;
- нажатием на кнопку Play активизируется визуализация циклического движения позиционеров из начальных положений в конечные при управлении движением по разработанному алгоритму предотвращения коллизий, который формирует текущее состояние позиционеров и согласованных диаграмм движения.

Разработанная программа интерактивной визуализации предназначена для программирования бесколлизийной работы двух планарных позиционеров на одном статоре. Эта проблема является весьма актуальной в зондовом оборудовании контроля многослойных печатных плат, имеющих большие размеры, когда автоматическое тестирование возможно только с помощью четырех и более зондов, попарно расположенных на координатных позиционерах верхнего и нижнего статора [2]. Эта программа позволяет проводить анализ траектории движения координатных позиционеров при реализации общего задания на тестирование и выбора оптимальных траекторий движения. При некоторой доработке разработанная программа на базе алгоритма бесколлизийного движения двух планарных позиционеров может быть встроена в общий программный комплекс системы управления класса оборудования для микроэлектроники, в котором используется совместная работа двух планарных позиционеров.

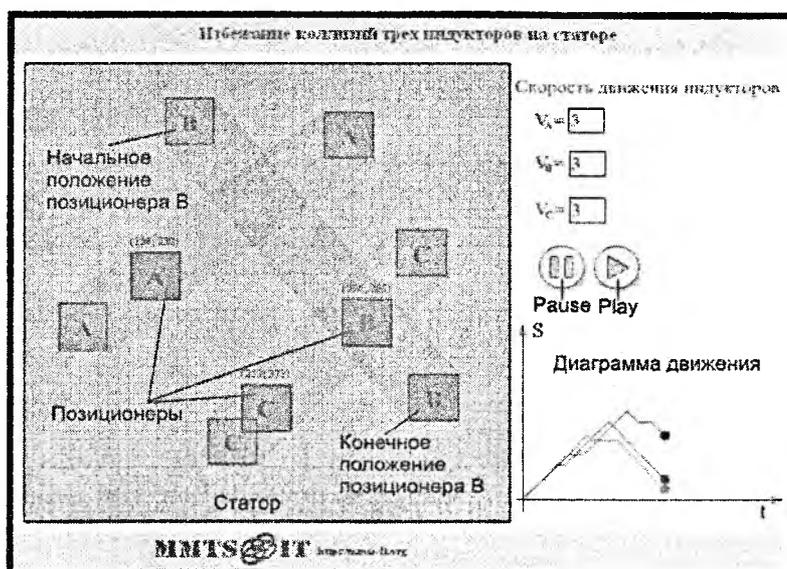


Рисунок 3 - Интерфейс интерактивной визуализации для исследования трех планарных ЛШД на одном статоре

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показано, что построение программных движений комплекса Трипланар связано с необходимостью алгоритмического представления возможных коллизий при перемещениях трех планарных позиционеров на одном статоре;

2. Предложен параметрический аналитический алгоритм предотвращения коллизий трех планарных позиционеров, полученный методами аналитической геометрии, в сочетании с заложенной в алгоритме системой приоритетов. Программное обеспечение на основе разработанного алгоритма предназначено для встраивания в ПО системы управления Трипланар;

3. Разработана программа интерактивной визуализации движения трех планарных позиционеров при задаваемых с помощью мыши их начальных и конечных положений. Эта программа может быть использована при наладке системы перемещений Трипланар по визуализации, формируемой позиционными датчиками Холла, имеющимися в планарных позиционерах.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Ahranovich, S.Karpovich, K.Zimmermann, J.Zentner Multicoordinate Positioning System for Industrial Equipment Design Method // Proceedings of 51st International Scientific Colloquium Ilmenau (Germany), September 11-15, 2006 TU-Ilmenau, 2006. - p.139-140.
2. Онегин Е.Е., Зенькович В.А., Битно Л.Г. Автоматическая сборка ИС – Мн.: Выш. шк., 1990. – 383 с.

ПЛАНАРНЫЙ ПРИВОД С МЕХАНИЗМОМ ОГРАНИЧЕНИЯ РАЗВОРОТА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время элементной базой многокоординатного электропривода являются электромагнитные координатные позиционеры, обеспечивающие прямолинейные, вращательные, плоскопараллельные движения, а также сложные движения в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат, осуществляемых без кинематических трансмиссий и преобразователей [1...3].

Наиболее широко в спецтехнологическом оборудовании для производства изделий микроэлектроники применяются планарные позиционеры на базе линейных шаговых двигателей (ЛШД), позволяющие реализовать позиционные и контурные перемещения [4...7]. При этом координатные позиционеры на ЛШД характеризуются модульностью, однотипностью независимо от вида движения и управления, возможностью работы по программе и построения как разомкнутых систем, так и систем с обратной связью в зависимости от назначения оборудования.

Одним из факторов, влияющих на точность позиционирования планарного позиционера, является разворот в плоскости движения вокруг оси Z . Анализ этой проблемы и ее решению посвящена настоящая работа.

АНАЛИЗ УГЛА РАЗВОРОТА

Будем рассматривать планарный X, Y -позиционер, координатные модули которого расположены симметрично относительно центра масс. Тяговое усилие каждой координаты при этом является суммой тяговых усилий, развиваемых каждой симметричной частью (элементарным координатным модулем) координаты.

В общем случае тяговые силы каждого плеча имеют распределенный характер. Однако для анализа общего характера тяговых сил, который будем проводить для одной координаты (координаты X), и синхронизирующих моментов, развиваемых планарным модулем в статике, можно считать, что тяговые силы F_1 и F_2 приложены в центре зубцовой зоны каждого плеча O_1 и O_2 . Тогда, если считать, что масса X, Y -платформы сосредоточена в центре O , то на эту платформу всегда действует пара сил F_1 и F_2 , которая может быть сведена к одной тяговой силе:

$$F = F_1 + F_2 \quad (1)$$

и моменту вращения M массы вокруг центра O , причем этот момент пропорционален разности этих сил

$$M = r(F_1 - F_2), \quad (2)$$

где r – плечо силы.

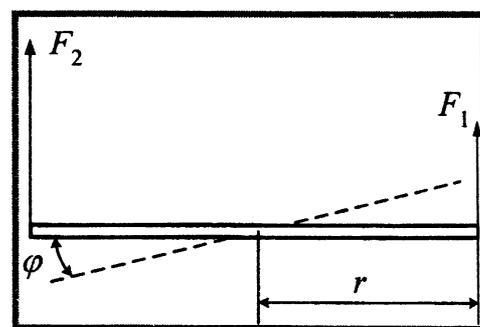


Рисунок 1- Силовая модель разворота планарного позиционера