

УДК 621.01

*Балакин П.Д., доктор технических наук, профессор
зав. кафедрой «Машиноведение»
Омский государственный технический университет
Россия, г. Омск*

*Шамутдинов А.Х., кандидат технических наук, профессор РАЕ
доцент кафедры «Техническая механика»
Омский автобронетанковый инженерный институт
Россия, г. Омск*

КОНЕЧНЫЕ ПОВОРОТЫ ОРИГИНАЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА

В статье рассмотрены конечные повороты наклонной платформы и опорно-поворотного устройства оригинального манипулятора при произвольном перемещении поводков и при их равных перемещениях. Сделан вывод об их коммутативности в движении. Определено условие поступательного вертикального перемещения рабочего стола пространственного манипулятора.

Ключевые слова: пространственный манипулятор, поворотный стол, опорно-поворотное устройство, рабочий стол, двигатель поступательного перемещения, коммутативность в движении.

In the article deals with the final turns of the inclined platform and supporting-turning device of spatial manipulator at leashes for arbitrary displacement and of the equal displacements. The conclusion of their commutativity in motion. The conditions of forward movement of the vertical displacement a desktop.

Keywords: spatial manipulator, swivel table, supporting-turning device, a desktop, the engine of progressive displacement, commutation in the motion.

В [1, 2] была описана сущность работы шестикоординатного манипулятора (пространственного механизма) и область его использования. Рассмотрим только оригинальную часть данного механизма (рис. 1).

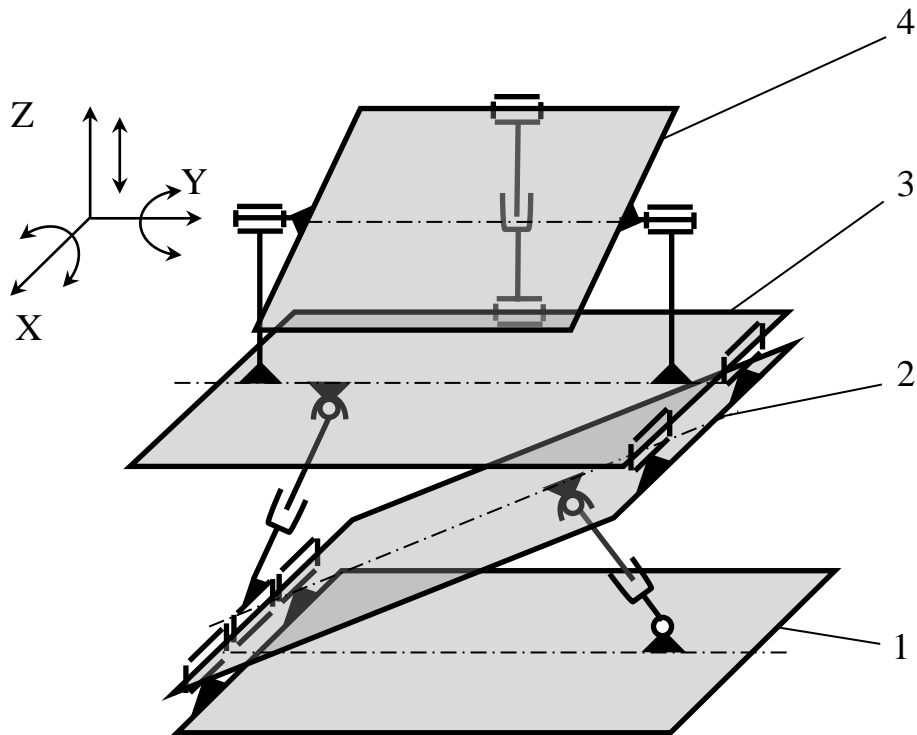


Рис. 1. Оригинальная часть пространственного манипулятора

Позиции на рис. 1: 1 – Поворотный стол; 2 – Наклонная платформа; 3 – Опорно-поворотное устройство; 4 – Рабочий стол.

Кинематику опорно-поворотного устройства 3 пространственного манипулятора будем рассматривать при произвольном перемещении поводков 2 и 3 (рис. 2 - 3). Для упрощения схемы, на рис. 2-3, не показаны опоры и выходное звено (рабочий стол). Черным цветом показано начальное положение механизма, синим цветом – при изменении длины одного поводка и красным цветом – при изменении длины второго поводка (конечное положение).

Позиции на рис. 2 – 3: 1 – Поворотный стол; 2 – Правый поводок (двигатель поступательного перемещения); 3 – Левый поводок (двигатель

поступательного перемещения); 4 – Наклонная платформа; 5 – Опорно-поворотное устройство.

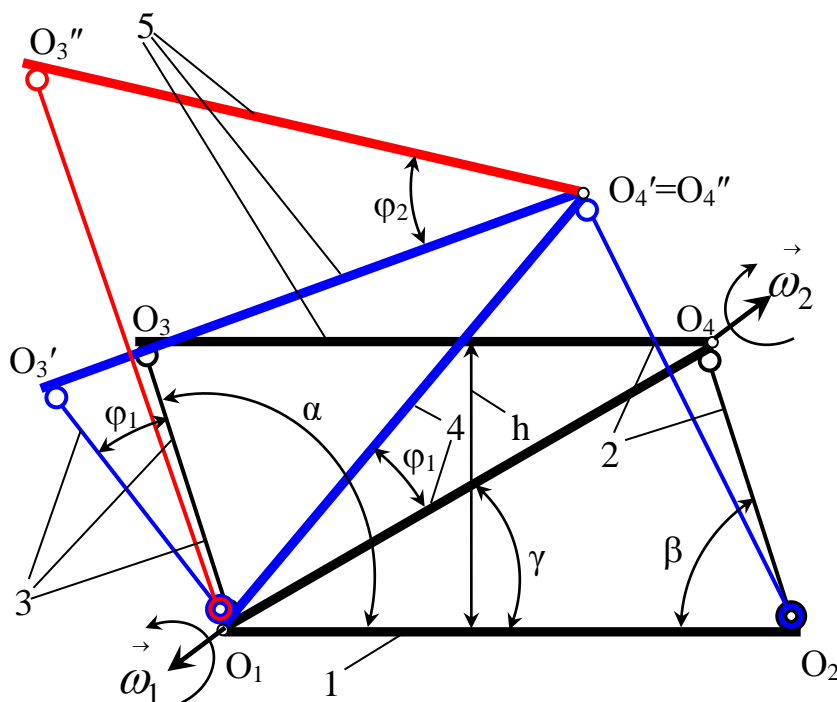


Рис. 2. Схема перемещения фрагмента манипулятора при движении поводка 2, а потом поводка 3

Исходные данные:

$O_1O_3 = O_1O'_3 = l_1$ – первоначальная длина левого поводка; $O_2O_4 = l_2$ – первоначальная длина правого поводка; $O_1O''_3 = l_1 + \Delta l_1$ – длина левого поводка после перемещения его на величину Δl_1 ; $O_2O'_4 = l_2 + \Delta l_2$ – длина правого поводка после перемещения его на величину Δl_2 ; $O_1O_2 = a$, $O_1O_4 = O_1O'_4 = b$, $O_3O_4 = O'_3O'_4 = O''_3O''_4 = c$.

В общем случае: $\alpha = \pi - \arcsin \frac{h}{l_1}$, $\beta = \arcsin \frac{h}{l_2}$, $\gamma = \arcsin \frac{h}{b}$.

Считаем, что первоначальное положение управляемой платформы определяется горизонтальным положением опорно-поворотного устройства 5 (рис. 2 – 3).

1а) Перемещение правого поводка 2, на величину Δl_2 :

левый поводок, при этом, не меняет своей длины и поворачивается по дуге окружности, радиусом $R_1 = l_1$, а наклонная платформа 4 поворачивается по дуге окружности, радиусом $R_2 = b$ на угол φ_1 .

$O_2O_4'^2 = a^2 + b^2 - 2a \cdot b \cdot \cos(\varphi_1 + \gamma)$, $O_2O_4' = l_2 + \Delta l_2$, откуда

$$\varphi_1 = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - (l_2 + \Delta l_2)^2}{2a \cdot b}\right) - \gamma \quad (1)$$

1б) Перемещение левого поводка 3, на величину Δl_1 :

правый поводок, при этом, не меняет своей длины, остается на месте, а по дуге окружности, радиусом $R_3 = c$, поворачивается опорно-поворотное устройство 5 на угол φ_2 .

$O_1O_3''^2 = b^2 + c^2 - 2b \cdot c \cdot \cos(\varphi_2 + \gamma)$, $O_1O_3'' = l_1 + \Delta l_1$, откуда

$$\varphi_2 = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - (l_1 + \Delta l_1)^2}{2b \cdot c}\right) - \gamma \quad (2)$$

Теперь поменяем последовательность движений поводков 2 и 3:

2а) Перемещение левого поводка 3, на величину Δl_1 :

правый поводок, при этом, не меняет своей длины, остается на месте, а по дуге окружности, радиусом $R_3 = c$, поворачивается опорно-поворотное устройство 5 на угол φ_2 .

$O_1O_3''^2 = b^2 + c^2 - 2b \cdot c \cdot \cos(\varphi_2 + \gamma)$, $O_1O_3'' = l_1 + \Delta l_1$, откуда

$$\varphi_2 = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - (l_1 + \Delta l_1)^2}{2b \cdot c}\right) - \gamma \quad (3)$$

2б) Перемещение правого поводка 2, на величину Δl_2 :

левый поводок, при этом, не меняет своей длины и поворачивается по дуге окружности, радиусом $R_1 = l_1 + \Delta l_1$, а наклонная платформа 4 поворачивается по дуге окружности, радиусом $R_2 = b$ на угол φ_1 .

$O_2O_4'^2 = a^2 + b^2 - 2a \cdot b \cdot \cos(\varphi_1 + \alpha)$, $O_2O_4' = l_2 + \Delta l_2$, откуда

$$\varphi_1 = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - (l_2 + \Delta l_2)^2}{2a \cdot b}\right) - \gamma \quad (4)$$

Сравнивая рис. 2 и рис. 3 видно, что при изменении последовательности поворотов поводков 2 и 3 итоговое положение опорно-поворотного устройства 5 не изменилось.

Итак, задавая перемещения поводков Δl_1 и Δl_2 или углы поворотов φ_1 и φ_2 (как обобщенные координаты), определяем углы поворотов данных поводков. Так как эти поводки связаны с опорно-поворотным устройством 5, на котором расположен рабочий стол, то зная углы поворотов поводков можно определить положение рабочего стола.

Из рис. 2 – 3 видно, что при $\varphi_2 = \varphi_1$ (и $\varphi_1 = \varphi_2$) рис. 2 преобразуется в рис. 4, а рис. 3 в рис. 5. Таким образом, опорно-поворотное устройство 5 опять заняло горизонтальное положение, т.е. произошло поступательное перемещение опорно-поворотного устройства 5. Так как $\varphi_2 = \varphi_1$, то из выражений (1)–(4) имеем:

$$\arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - (l_2 + \Delta l_2)^2}{2a \cdot b}\right) - \gamma = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - (l_1 + \Delta l_1)^2}{2b \cdot c}\right) - \gamma,$$

откуда

$$\frac{a^2 + b^2 - (l_2 + \Delta l_2)^2}{2a \cdot b} = \frac{b^2 + c^2 - (l_1 + \Delta l_1)^2}{2b \cdot c}$$

или

$$\frac{a^2 + b^2 - (l_2 + \Delta l_2)^2}{b^2 + c^2 - (l_1 + \Delta l_1)^2} = \frac{a}{c} \quad (5)$$

Рассмотрим частный случай перемещения опорного стола 5, когда $\varphi_2 = \varphi_1$ и $\varphi_1 = \varphi_2$ (рис. 4 – 5). В макете пространственного манипулятора конструктивные параметры подобраны так, что $a = c$. Тогда из выражения (5) найдем:

$$l_1 + \Delta l_1 = l_2 + \Delta l_2 \quad (6)$$

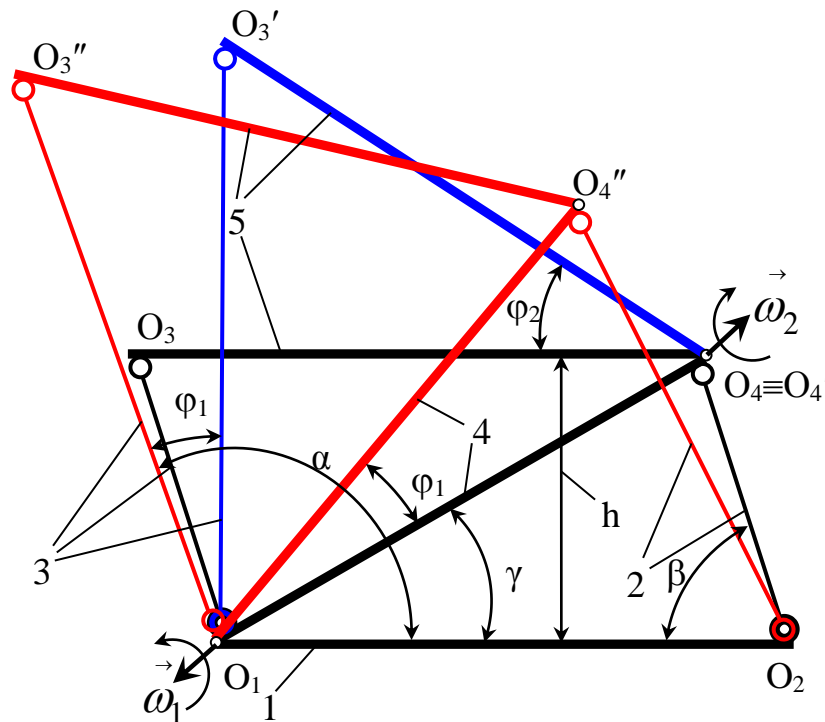


Рис. 3. Схема перемещения фрагмента пространственного механизма при движении поводка 3, а потом поводка 2

Соблюдая условие (6) для манипулятора вида (рис. 1) также можно добиться поступательного перемещения рабочего стола манипулятора. Для нашего макета $l_1 = l_2$. Тогда $\Delta l_1 = \Delta l_2$, т.е. для поступательного перемещения опорно-поворотного устройства данного макета манипулятора необходимо движение поводков 2 и 3 вдоль своей оси на одинаковые величины.

Из [3] известно, что поступательное движение твердого тела получается в 4-х случаях: 1) Поступательных движений твердого тела; 2) Двух вращательных движений твердого тела с равными антипараллельными угловыми скоростями; 3) Винтового движения твердого тела и пары вращений; 4) Двух винтовых движений твердого тела с параллельными осями и равными антипараллельными угловыми скоростями.

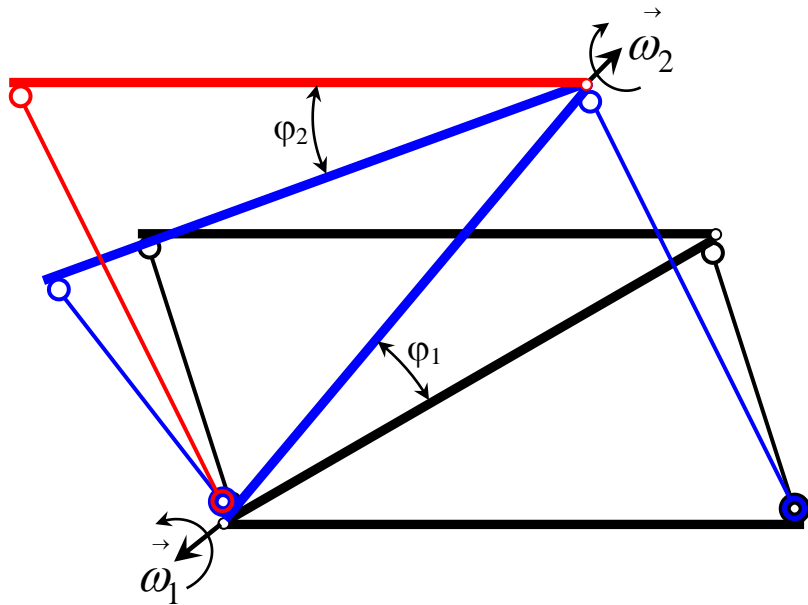


Рис. 4. Схема перемещения фрагмента пространственного механизма при движении поводка 2, а потом поводка 3 при $\varphi_2 = \varphi_1$

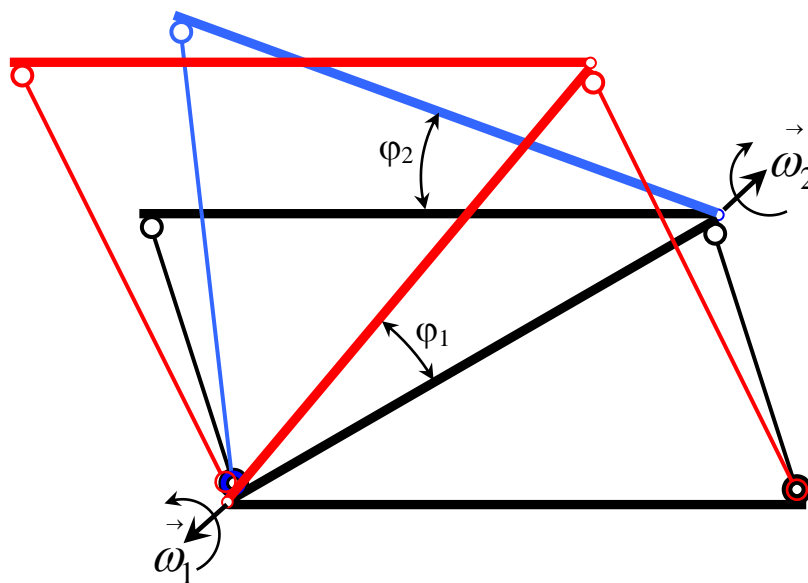


Рис. 5. Схема перемещения фрагмента пространственного механизма при движении поводка 3, а потом поводка 2 при $\varphi_1 = \varphi_2$

В нашем случае – это второй вариант. Отсюда видно, что: $\vec{\omega}_1 = -\vec{\omega}_2$, т.е.

$$\dot{\varphi}_1 = -\dot{\varphi}_2$$

Вывод:

- 1) Доказано, что конечные повороты наклонной платформы и опорно-поворотного коммутативны в движении, т.е. схемное решение шестикоординатного манипулятора [1] обеспечивает независимость последовательности исполнительных парциальных движений.
- 2) Соблюдая соотношение (6) можно добиться поступательного вертикального перемещения опорно-поворотного устройства 5 пространственного манипулятора в общем виде.

Библиографический список

1. Патент ПМ № 120599 РФ. МПК В25J1/00. Пространственный механизм / П. Д. Балакин, А. Х. Шамутдинов. № 2011153160/02. Заявлено 26.02.2011. Оpubл. 27.09.2012. Бюлл. № 27.
2. Балакин, П. Д. Схемное решение механизма пространственного манипулятора/ П. Д. Балакин, А. Х. Шамутдинов // Омский научный вестник. – 2012. – №2(110). – С.65-69.
3. Люкшин, В. С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов / В. С. Люкшин. – М. : Машиностроение, 1967. – С. 372.