

Рис.8. Переходная характеристика

Коэффициенты ПИ-регулятора подобраны экспериментально, для достижения наилучших показателей качества переходной характеристики.

### *Литература*

1. Modeling of Permanent Magnet Motor Drive [Journal] / auth. Krishnan R. and Pillay Pragasan // IEEE transactions on industrial electronics. – 1988. – pp. 537-541.
2. Simulation of PMSM Vector Control System Based on Matlab/Simulink [Conference] / auth. LIU Ting-ting [и др.] // International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. – Beijing : IEEE Computer Society, 2009. – pp. 343-346

УДК 004.942

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИБКОГО ОБУЧАЮЩЕГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РОБОТА**

Матькова К.Ю.

Научный руководитель – Матрунчик Ю.Н., старший преподаватель

Мягкая робототехника – это направление робототехники, специализирующееся на создании роботов из мягких материалов, схожих с тканями живых организмов. Данная область предполагает междисциплинарный подход, что, в свою очередь, вызывает трудности при разработке проектов из-за отсутствия базовых систематизированных знаний и методологий в области проектирования и исследования мягкой робототехники. Важным начальным этапом является создание математической модели. Основными движениями модели являются:

1. Перемещение нижнего основания параллельно верхнему основанию без вращения вокруг оси;
2. Наклон, без перемещения нижнего основания относительно верхнего, без вращения вокруг оси;
3. Вращение вокруг оси, без параллельного перемещения нижнего основания относительно верхнего основания, без наклона.

Все остальные движения являются комбинацией этих базовых движений.

*Движения нижнего основания параллельно верхнему основанию*

В плоскости верхнего основания определяются координаты центра нижнего основания – точки (k), соответственно координаты  $x_k$ ,  $y_k$ , что показано на рисунке 1.

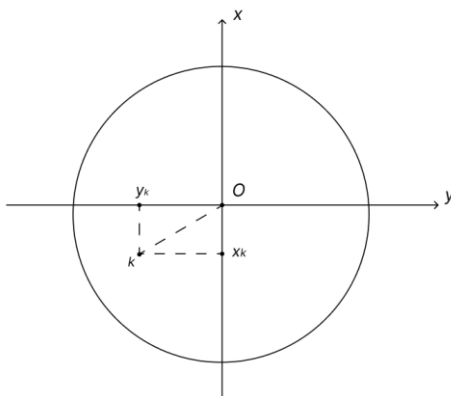


Рис.1. Координаты нового центра нижнего основания в плоскости верхнего основания

Далее определяется расстояние  $z_{O'O}$  между верхним и нижним основаниями вдоль оси z. Таким образом, координаты центра нижней основы  $x_k$ ,  $y_k$ ,  $z_{O'O}$  полностью определены. Расстояние между центрами двух оснований – это желаемое натяжение нити. Это расстояние находится через прямоугольный треугольник  $kOO'$ , который показан на рисунке 2.

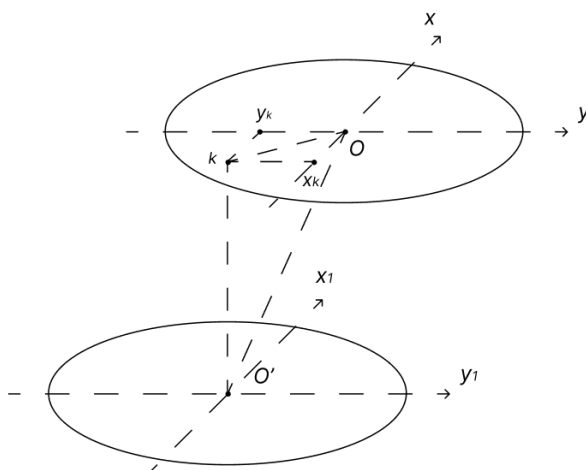


Рис.2. Расстояние между центрами верхнего и нижнего оснований

$$kO = \sqrt{y_k^2 + x_k^2}$$

Катет  $kO'$  равен расстоянию  $z_{O'}$  между основаниями. Расстояние  $OO'$  равно:

$$OO' = \sqrt{kO^2 + z_{O'}^2}$$

*Наклон нижнего основания, без перемещения основания, без вращения вокруг оси*

Первоначально определяется расстояние  $z_{O'}$  между базами. Затем эта задача может быть решена двумя способами: прямым и обратным. Прямой способ заключается в том, чтобы узнать длину, на которую изменяется длина нитей одной из осей. При решении задачи обратным способом известен угол, который должен быть достигнут при наклоне.

При решении задачи прямым способом известна длина  $L$  натяжения нити на оси 1. В этом случае натяжение нити на оси 2 не изменяется, как показано на рисунке 3.

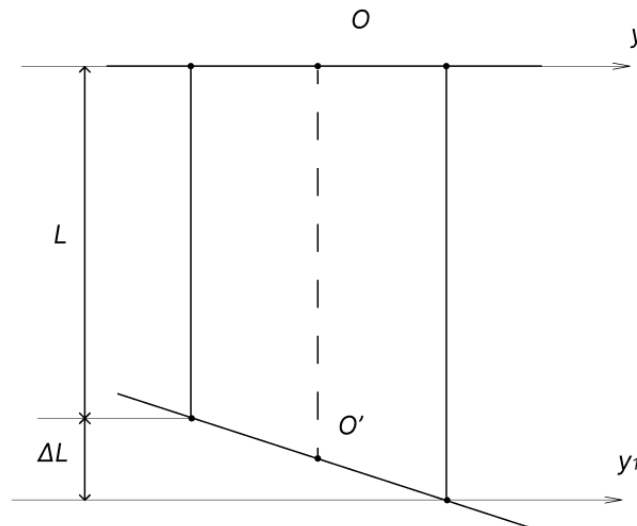


Рис.3. Положение нижнего основания

Расстояние  $\Delta L$ , на которое поднялась ось:

$$\Delta L = z_{O'} - L$$

После этого в прямоугольном треугольнике  $ABC$ , изображенном на рисунке 4, определите синус угла  $\Theta$  как отношение известного катета и гипотенузы:

$$\sin \Theta = \frac{CB}{AB}$$

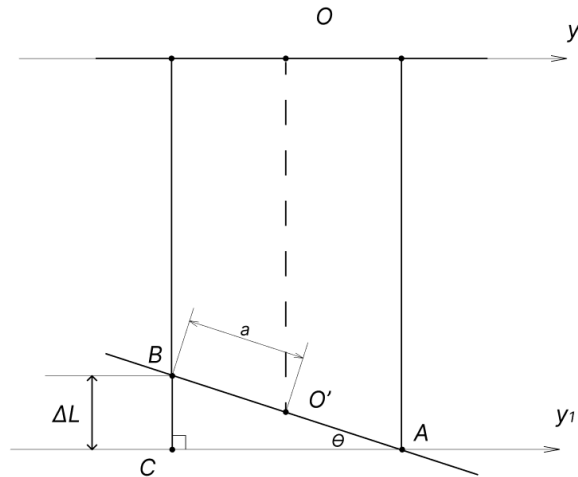


Рис.4. Угол подъема нижней платформы

Эту задачу можно также рассмотреть со стороны изначально известного расстояния, на которое поднята ось 1. В этом случае решение задачи сводится к определению натяжения нити и нахождению угла, который уже был описан выше.

*Вращение нижнего основания вокруг своей оси, без перемещения, без наклона*

В этом случае предусмотрено ограничение угла поворота не более 180 градусов, чтобы предотвратить столкновение нитей. Следует отметить, что при решении задачи известны:

1. Угол поворота нижнего основания вокруг оси (не более 180 градусов);
2. Расстояние  $b$  от начальной точки до новой точки после поворота нижнего основания.

После поворота нижнего основания точки займут новое положение относительно исходных точек, как показано на рисунке 5. До вращения нити находятся под прямым углом к верхнему и нижнему основаниям, после вращения они становятся наклонными к основаниям.

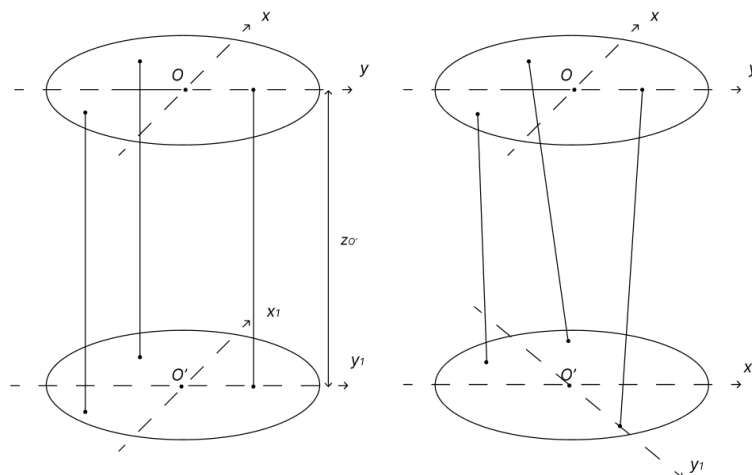


Рис.5. Новые положения нитей

Рассмотрим прямоугольный треугольник  $ABC$ , состоящий из исходного положения нити и нового положения нити, лежащих в одной плоскости, как показано на рисунке 6.

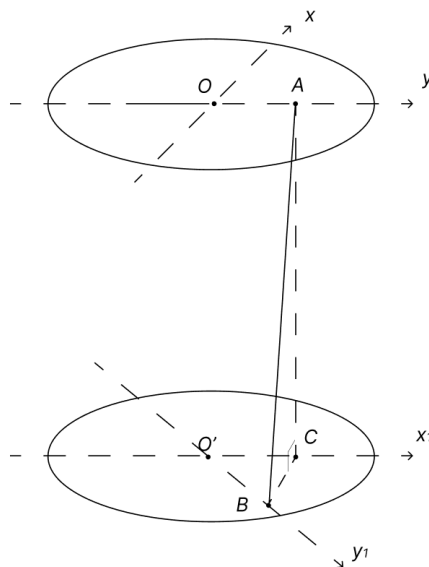


Рис.6. Натяжение нити

В этом треугольнике гипотенуза соответствует натяжению нити. По предположению, расстояние от начальной точки до новой точки после поворота нижнего основания известно –  $CB$ , катет в правильном треугольнике  $ABC$ . Также известно начальное расстояние между верхним и нижним основаниями – катет  $AC$ . Поскольку два катета прямоугольного треугольника известны, натяжение нити равно:

$$AB = \sqrt{CB^2 + AC^2}$$

Далее, чтобы определить угол наклона, находим тангенс угла  $\beta$ :

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{AC}{CB}$$

Эту задачу можно решить и обратным способом, зная угол поворота нижнего основания.

#### *Литература*

1. The science of soft robot design: A review of motivations, methods and enabling technologies. – Electronic resource. – Access mode: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2022.1059026/full>;
2. Modeling and Simulation of Dynamics in Soft Robotics: a Review of Numerical Approaches. Electronic resource. – Access mode: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43154-023-00105-z>.