

**ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИНУСНОГО МЕХАНИЗМА****Н.Н. Терсков**

terskovnn@student.bmstu.ru

SPIN-код: 8105-6521

**Д.А. Лебедев**

dmitry28.lebedew@yandex.ru

SPIN-код: 2380-1901

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

**Аннотация**

В последние годы современные ученые обратили свое внимание на развитие теории шарнирных механизмов, связанное с бурным развитием робототехники. Приведены примеры конструкций, в которых инженеры применили шарнирные механизмы, работающие по закону инверсии. Выполнено геометрическое исследование одного из них, работающего по принципу тригонометрического механизма. Это так называемый шарнирный синусный механизм, который находит применение в рычажных измерительных приборах, где он используется как приближенный механизм для воспроизведения линейных зависимостей, а также как элемент конструкции манипулятора. В среде программы Inventor компании Autodesk построена его структурная электронная 3D-модель.

**Ключевые слова**

Стереометрия, начертательная геометрия, конструирование, синусный механизм, робототехника, шарнирный механизм, моделирование, механика

Поступила в редакцию 02.07.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

**Введение.** В XXI веке шарнирные механизмы переживают второе рождение, обусловленное их применением в робототехнических устройствах, которые позволяют автоматизировать многие производственные процессы. Поставлена задача геометрического исследования одного из шарнирных механизмов с созданием его электронной модели в программе Inventor.

**Задача о синусном механизме.** Знакомство с шарнирными механизмами начинается в школе. В учебнике по стереометрии в некоторые задачи в неявном виде вложены принципы работы шарнирных механизмов. Например, в одной из задач по двум взаимно перпендикулярным скрещивающимся отрезкам скользит отрезок фиксированной длины. Следует определить траекторию движения середины этого отрезка [1]. На рис. 1 приведен рисунок к задаче, а на рис. 2 — расчетная схема.

Приведем решение этой задачи. Пусть начало координат находится в точке  $O$  — середине отрезка  $AB$ . Длина отрезка  $AB$  — это расстояние между скрещивающимися прямыми  $a$  и  $b$ . В каждом положении отрезка, имеющего длину  $d$  и перемещающегося по прямым  $a$  и  $b$ , его середина — точка  $C$  — имеет координаты  $x$  и  $y$ . Рассмотрим одно из положений точки  $C$ , тогда из прямоугольного треугольника  $AKL$ :  $x^2 + y^2 = CO^2$ .



Рассмотрим одно из положений движущегося отрезка  $KL$ . Для определения длины этого отрезка по его ортогональным проекциям построен прямоугольный треугольник  $K'L'K_0$ . Согласно теореме Пифагора  $KL^2 = K'L'^2 + K'K_0^2$ . Квадрат длины катета  $K'L'$  равен  $(4x^2 + h^2)$ ,  $K'K_0^2 = 4z^2$ , а  $KL^2 = d^2$ . После преобразования получим:  $d^2 = 4x^2 + h^2 + 4z^2$ .

Последнее выражение соответствует уравнению окружности радиуса, множество точек которой соответствует серединам всех отрезков данной длины  $d$ , концы которых лежат на данных скрещивающихся прямых. Что и требовалось доказать.

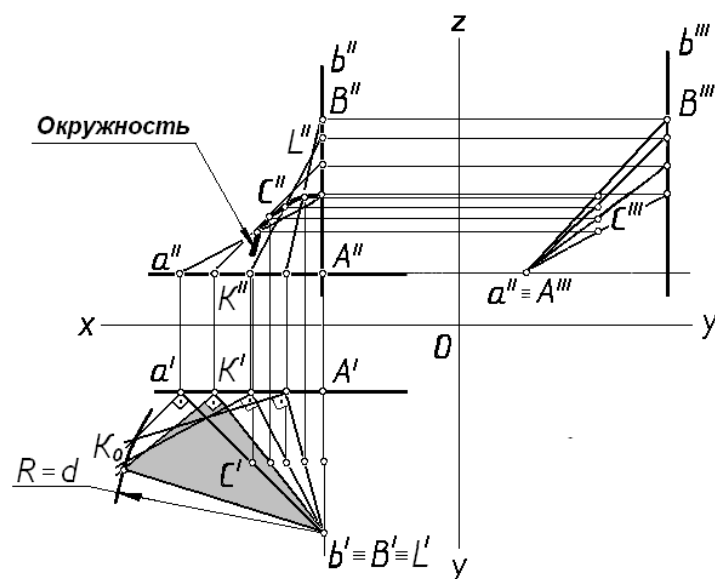


Рис. 3. Решение задачи на ортогональном чертеже

**Построение синусного механизма.** Анализ решения задачи приводит к мысли, что речь идет о синусном механизме, используемом для преобразования вращательного движения кривошипа в прямолинейно-поступательное движение кулисы [3]. Кулиса и кулисный камень — это два подвижных звена, связанные между собой поступательной кинематической парой (рис. 4) [4]. На языке

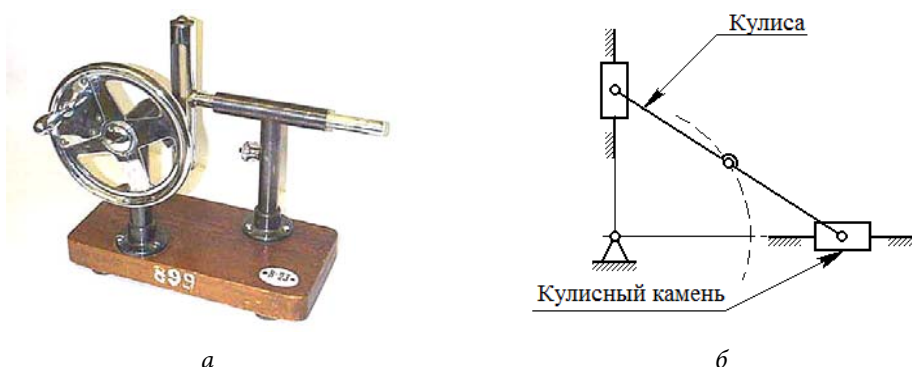


Рис. 4. Макет синусного механизма (а) и его схема (б)

математики с помощью этого механизма осуществляется переход от полярной системы координат к декартовой и наоборот. Передаточная функция этого механизма изменяется по закону синуса или косинуса [5].

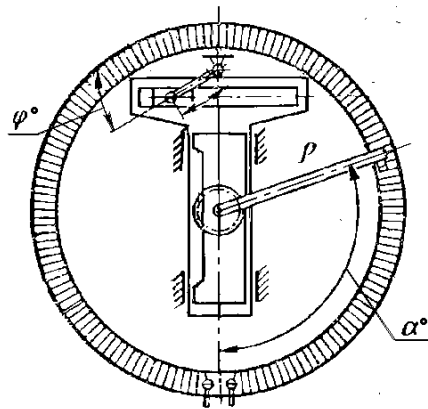


Рис. 5. Схема синусного потенциометра

В синусном механизме кулиса может быть расположена вертикально или наклонно [6]. Малые усилия, передаваемые в приборах, небольшие перемещения звеньев позволили использовать синусный и другие подобные механизмы в приборостроении, например, в счетных машинах, в механизме синусного потенциометра (рис. 5) [7].

Потенциометры — это регулируемые делители напряжения, которые предназначены для регулирования напряжения при неизменном значении тока и выполнены по типу переменного резистора. На выводы резистивного

элемента от источника подается напряжение, которое предполагается регулировать. Подвижный контакт является регулирующим элементом, который приводят в действие вращением ручки. От подвижного контакта далее по цепи поступает напряжение, которое может находиться в диапазоне от нуля до наибольшего значения, равного входному напряжению на потенциометр, и зависит от текущей позиции подвижного контакта.

В некоторых случаях потенциометрический датчик должен обеспечивать не линейную статическую характеристику, а заданную функциональную зависимость между перемещением щетки и значением выходного сигнала. Например, в некоторых системах управления летательными аппаратами требуется сигнал пропорциональный синусу или косинусу угла крена, тогда как рамка гиросприбора поворачивается на угол, равный углу крена. В этом случае можно применять потенциометрический датчик углового перемещения, щетка которого связана с рамкой гиросприбора, а выходной сигнал имеет вид  $U(\alpha) = U_0 \sin \alpha$ .

Потенциометр действует по типу переменного резистора, однако выполняет функции делителя напряжения. Его резистивный компонент представляет собой два резистора, которые соединены последовательно. Наиболее популярными стали переменные однооборотные резисторы, которые широко применяются в радиотехнических устройствах в качестве регуляторов громкости, а также в других устройствах.

Синусный механизм нашел применение в манипуляторах для атомной промышленности [8]. Схема манипулятора показана на рис. 6, а внешний вид макета манипулятора — на рис. 7.

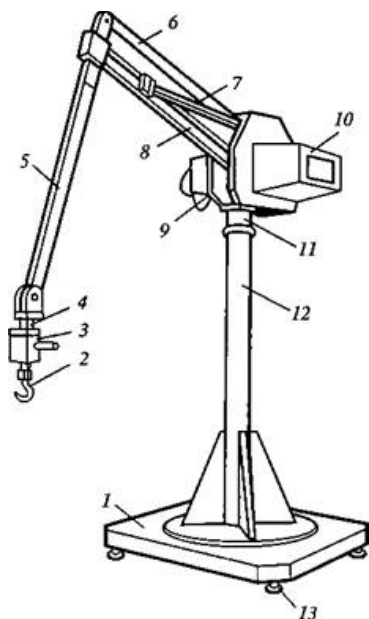


Рис. 6. Схема манипулятора:

1 — основание; 2 — крюк; 3 — каретка; 4 — выдвигной рычаг; 5 — рычаг; 6 — кривошип; 7 — ползун; 8 — штанга; 9 — противовес; 10 — механизм управления; 11 — выдвигная штанга; 12 — стойка; 13 — опоры



Рис. 7. Внешний вид макета манипулятора

**Построение макета и 3D-модели синусного механизма в программе Autodesk Inventor.** На рис. 8 показано изображение макета синусного механизма (а), на основании которого создана его структурная электронная модель (б) в среде Inventor [9].

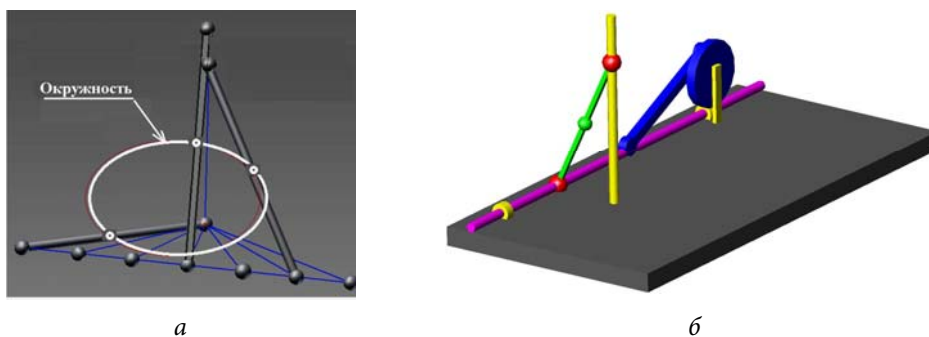


Рис. 8. Макет (а) и электронная модель (б) синусного механизма

**Вывод.** Исследование синусного шарнирного механизма показывает, что создание современных машин и механизмов невозможно без хорошего знания геометрии и использования средств компьютерных технологий при проектировании.

### Литература

- [1] Бутузов В.Ф., Кадомцев С.Б. *Планиметрия*. Москва, Физматлит, 2005. 488 с.
- [2] Фролов С.А. *Начертательная геометрия*. Москва, Машиностроение, 1983, 240 с.
- [3] Колесников К.С., ред. Машиностроение. Т. 1–3. Кн. 2. *Динамика и прочность машин. Теория механизмов и машин*. Москва, Машиностроение, 1995, 624 с.
- [4] Артоболевский И.И. *Теория механизмов и машин*. Москва, Наука, 1988, 640 с.
- [5] Артоболевский И.И., Левитский Н.И. *Модели механизмов П.Л. Чебышева*. Полное собрание сочинений П.Л. Чебышева. Т. IV. Теория механизмов. Москва, АН СССР, 1948, с. 223–228.
- [6] Тимофеев Г.А. *Теория машин и механизмов*. Москва, Высшее образование, 2009, 178 с.
- [7] Белевцев А.Т. *Потенциометры*. Москва, Машиностроение, 1969, 328 с.
- [8] Петров Б.А. *Манипуляторы для атомной промышленности*. Москва, Машиностроение, 1984, 276 с.
- [9] Федоренков А.П., Полубинская Л.Г. *Autodesk Inventor. Шаг за шагом*. Москва, ЭКСМО, 2008, 336 с.

**Терсков Николай Николаевич** — студент кафедры «Информатика и системы управления», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Лебедев Дмитрий Александрович** — студент кафедры «Металлорежущие станки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Юренкова Любовь Романовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная графика», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

## GEOMETRIC INVESTIGATION OF THE SINE MECHANISM

**N.N. Terskov**

terskovnn@student.bmstu.ru

SPIN-code: 8105-6521

**D.A. Lebedev**

dmitry28.lebedew@yandex.ru

SPIN-code: 2380-1901

**Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**

---

### Abstract

*In recent years modern scientists have paid their attention to the development of the jointed mechanism theory connected with the rapid development of robotic engineering. The article provides examples of constructions, in which the engineers have applied jointed mechanisms operating according to the inversion law. The authors have carried out geometric research of the mechanism working on the principle of the trigonometric mechanism. It is a so called jointed sine mechanism that finds an application in the lever-type measuring instruments where it is used as the approximate mechanism for reproducing linear dependences as well as the structural element of the manipulator. Its structural electronic 3D-model is built in the Inventor software environment of the Autodesk company.*

### Keywords

*Stereometry, descriptive geometry, design engineering, sine mechanism, robotic engineering, jointed mechanism, modelling, mechanics*

Received 02.07.2018

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

---

### References

- [1] Butuzov V.F., Kadomtsev S.B. Planimetriya. [Planimetry]. Moscow, Fizmatlit publ., 2005. 488 p.
- [2] Frolov S.A. Nachertatel'naya geometriya [Descriptive geometry]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1983, 240 p.
- [3] Kolesnikov K.S., ed. Mashinostroenie. T. 1–3. Kn. 2. Dinamika i prochnost' mashin. Teoriya mekhanizmov i mashin [Mechanical engineering. Vol. 1–3. P. 2. Dynamics and strength of machines. Theory of mechanisms and machines]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1995, 624 p.
- [4] Artobolevskiy I.I. Teoriya mekhanizmov i mashin [Theory of mechanisms and machines]. Moscow, Nauka publ., 1988, 640 p.
- [5] Artobolevskiy I.I., Levitskiy N.I. Modeli mekhanizmov P.L. Chebysheva. Polnoe sobranie sochineniy P.L. Chebysheva. T. IV. Teoriya mekhanizmov [Models of Chebyshev mechanisms. In: The complete edition of Chebyshev works. Vol. IV. Theory of mechanisms]. Moscow, AN SSSR publ., 1948, pp. 223–228.
- [6] Timofeev G.A. Teoriya mashin i mekhanizmov [Theory of machines and mechanisms]. Moscow, Vysshee obrazovanie publ., 2009, 178 p.
- [7] Belevtsev A.T. Potentsiometriya [Potentiometers]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1969, 328 p.
- [8] Petrov B.A. Manipulyatory dlya atomnoy promyshlennosti [Manipulators for nuclear industry]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1984, 276 p.
- [9] Fedorenkov A.P., Polubinskaya L.G. Autodesk Inventor. Shag za shagom [Autodesk Inventor. Step by step]. Moscow, EKSMO publ., 2008, 336 p.

**Terskov N.N.** — student, Department of Informatics and Control Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Lebedev D.A.** — student, Department of Machine Tools, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — L.R. Yurenkova, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Engineering Graphics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.