

Новое прямико на основе механизма Липкина

Конорева Мария Эрфан

6 класс, МБОУ Гимназия № 5 городского округа Королёв Московской области

Научный руководитель В.Б. Дроботов, ФГБОУ НИУ «Московский авиационный институт»

Предлагается новая комбинация механизмов Липкина. Эти механизмы позволяют получить точное движение точки по прямой линии, поэтому их часто называют прямыми. Один механизм Липкина позволяет получить движение по прямой линии одной точки. Два механизма позволяют получить движение по прямой линии отрезка, то есть шатуна. Три и более механизмов позволяют получить движение по прямой линии плоской фигуры, например, прямоугольника. Такой механизм нужен для точного машиностроения, особенно для аддитивных технологий и 3D принтеров. Механизм позволяет заменить зубчатые ремённые передачи рычагами. Ремни рвутся или растягиваются, а рычаги работают надёжно, точность увеличивается. Цель работы заключается в увеличении скорости работы 3D принтера. На прямоугольник можно установить множество печатающих головок. Получится несколько устройств в одном механизме, скорость печати увеличится. В работе изучается только механическая часть устройства. Она требует получить точное движение по прямой линии плоской фигуры.

Видеоролик о работе: <https://youtu.be/prZQhj0g1wA>

Техническая задача направлена на решение важной проблемы. Надо увеличить скорость работы принтеров. Для обычных принтеров проблемы нет. Они могут напечатать книгу за одну минуту. Проблема есть в аддитивных технологиях. Предлагаю посчитать вместе.

Максимальная скорость печати 3D принтера 150 мм/с. Примерно за 6 секунд он выдаст линию длиной около метра и шириной не более 0,5 мм. Для детали площадью 1 квадратный метр надо 2000 таких линий. Умножаю на 6 секунд, получаю 12000 секунд на один слой. Это больше трёх часов на один слой. Для детали высотой 1 метр надо 2000 слоёв. Умножаю на 3 часа – это 6000 часов, то есть 250 суток.

Часто говорят о микронной точности, то есть о ширине линии 0,001 мм. При такой точности на одном слое нужно $1000:0,001=1000000$ линий. Умножаю на 6 секунд, получаю 6000000 секунд, то есть 70 суток. По высоте нужно тоже 1000000 линий, поэтому умножаю на 70 суток, получаю 700000000 секунд, то есть 192000 лет. Для справки, время жизни всех цивилизаций на Земле намного меньше.

Проблема увеличения скорости печати есть. Эта проблема не решена до сих пор, хотя предложений для её решения очень много. Один из способов увеличения скорости печати заключается в одновременной работе нескольких печатающих головок, но для этого нужен специальный точный механизм.

Уровень развития техники сейчас такой, что нельзя бесконечно увеличивать скорость движения деталей. Новые программы тоже не решают проблему. Новые материалы – это тоже ограниченная перспектива. Сейчас предлагают параллельную печать. Это несколько принтеров в одном устройстве. В таком способе я изучаю только механическую часть устройства. Нужно изготовить механизмы, в которых печатающие головки двигаются строго по прямым параллельным линиям. Не просто двигаются, а ещё сохраняют расстояния между линиями.

Сейчас для привода каретки применяют в основном ремни. Ремни делают зубчатыми, как на автомобилях. Но ремни часто рвутся. А ещё гибкая деталь растягивается, точность изготовления деталей уменьшается. Нельзя ли отказаться от ремня?

Классический механизм называют механизмом Липкина-Посселье [1]. Французский инженер Посселье только начертил механизм, но не изучил его. Полное исследование провёл советский Академик Иван Иванович Артоболевский [2]. Он доказал, что для движения точки по прямой линии механизм должен иметь не меньше семи рычагов. Считаем рычаги в механизме Липкина – там семь рычагов. В таком механизме точка может двигаться точно по прямой линии. Липкин интуитивно на столетие опередил Артоболевского. Он создал точное прямико – механизм, в котором точка движется точно по прямой линии.

В самом начале изучения были исключены из рассмотрения приближённые прямые [3].

В механизме Липкина только одна точка движется по прямой линии. Даже если ремень в принтере заменить на один механизм, то скорость не увеличится. Но если два механизма Липкина расположить ровно, то по прямой движется отрезок. Это шатун. На него можно установить много печатающих головок и ускорить печать. Такой механизм тоже известен. Это качели Липкина-Посселье. В видеоролике [4] приведена компьютерная модель устройства.

Появилась задача – повторить эту модель на опыте, но только без стягивающих пружин. Главным рычагом в качелях Липкина является нижний шатун. Он двигается точно по прямой линии. Если в одном механизме Липкина по прямой линии двигается только одна точка, то в качелях Липкина по прямой линии двигается отрезок. Теоретическое обоснование нового механизма было проведено по формуле Пафнутия Львовича Чебышева: из утроенного числа рычагов надо вычесть удвоенное число шарниров. Получилась одна степень свободы. Одна степень свободы нужна, чтобы поставить один двигатель для движения механизма, как в принтере. Этот двигатель будет качать сразу два механизма.

Изготовлена учебная модель механизма, фотография которой показана на рис.1. Рычаги - из алюминиевых полосок, шарниры - из гаек и винтов М8, корпус - из фанеры. Технология изготовления пары механизмов известна, была отработана ранее на одном механизме Липкина. Особенностью пары механизмов стал нижний рабочий шатун, на который можно установить несколько печатных головок 3D принтера. Все печатающие головки будут двигаться строго по прямой линии. Положение печатающих головок задаётся одним двигателем, потому что механизм имеет одну степень свободы. Длину нижнего рабочего шатуна можно делать любой, потому что два механизма Липкина установлены параллельно друг другу. Количество печатающих головок определяет длину шатуна. Пара механизмов в виде качелей Липкина-Посселье была изготовлена, а потом испытана. Во время испытаний механизм надо прижать к доске, к любой точке нижнего шатуна прижать кусочек мела, а потом покачать рычаги. На доске останется след от мела – прямая линия.

Работа пары механизмов Липкина

Одна степень свободы по формуле П.Л.Чебышева:

$$Ст = 3 \cdot \text{рыч} - 2 \cdot \text{шарн} = 3 \cdot 15 - 2 \cdot 22 = 45 - 44 = 1$$



Нижний рычаг-шатун двигается точно по прямой линии

Рис. 1. Модель механизма «Качели Липкина»

Процесс изготовления нового плоского прямил Липкина показан в видеоролике [5].

На рисунке 2 показаны четыре механизма Липкина в виде двойных качелей. Снизу на шатуны установлен прямоугольник из оргстекла, на который можно установить множество печатающих головок, то есть печатающую матрицу 3D принтера.

Чтобы увеличить количество печатающих головок в 3D принтере, можно не только длину шатуна делать больше, но сделать сам шатун шире. Но тогда шатун начнёт качаться. Чтобы шатун не раскачивался надо сделать ещё одни качели Липкина-Посселье. Получаются четыре механизма Липкина. Если смотреть на конструкцию сверху, то четыре механизма Липкина установлены в углах прямоугольника. Этот прямоугольник можно сделать жёстким. В механизме он сделан из оргстекла. Прямоугольник из оргстекла закреплён винтами на двух шатунах. На этот прямоугольник можно установить намного больше печатающих головок 3D принтера, чем на один рычаг-шатун. Скорость печати увеличивается. Например, если установить 100 печатающих головок, то в первом примере время изготовления детали уменьшится от 250 суток до 2,5 суток, то есть в 100 раз. Значит, есть смысл от одной печатающей головки переходить к большим печатающим матрицам. Это похоже на экран монитора, который состоит из множества точек-пикселей, или похоже на матрицу электронного фотоаппарата.

В одном механизме Липкина по прямой линии двигается одна точка. В двух механизмах Липкина по прямой двигается отрезок. В трёх и более механизмах Липкина по прямой двигается плоская фигура. Достаточно было трёх механизмов, чтобы расположить их в углах треугольника. Тогда по прямой будет двигаться треугольник. На треугольнике можно закрепить фигуру печатающей матрицы любой формы. Но пока для наглядности были изготовлены четыре механизма Липкина.



Рис. 2. Четыре механизма Липкина с прямоугольником из оргстекла

Выводы.

1. Доказано, что можно применить качели Посселье-Липкина для создания нового механизма в 3D принтере для увеличения скорости печати.
2. Есть смысл применить 4 механизма Липкина, то есть пару качелей, для установки на них множества печатающих головок 3D принтера.
3. Для ускорения 3D печати можно перейти от одной печатающей головки к нескольким, или даже к печатающей матрице.
4. Применение печатающих матриц потребует решения множества задач для быстрой печати в зависимости от формы детали.

Литература

1. Прямило Липкина. Математические этюды. [Электронный ресурс]. URL: <https://etudes.ru/etudes/lipkin-inversor/> (дата обращения 14.01.2022).
2. Артоболевский И.И., Левитский Н.И. Механизмы П.Л. Чебышева / Научное наследие П.Л. Чебышева. Вып. II. Теория механизмов. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1945. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tcbeb.ru/27> (дата обращения 14.01.2022).
3. О простейшей суставной системе, доставляющей движения, симметричные около оси / Полное собрание сочинений П.Л. Чебышева. Том IV. Теория механизмов. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – С.167 – 211. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tcbeb.ru/27> (дата обращения 14.01.2022).
4. Качели Липкина-Посселье. 26 июня 2012 г. [Электронный ресурс] (видеоролик 3:23). URL: <https://youtu.be/zXtcJqplzC0> (дата обращения 14.01.2021).
5. Конорева М.Э. Новое прямило на основе механизма Липкина. 06.04.2021 [Электронный ресурс] (видеоролик 6:17). URL: <https://youtu.be/prZQhj0g1wA> (дата обращения 14.01.2022).