

УДК 621.01

Синтез кулачкового механизма по условию минимизации ускорения на заданном интервале перемещения толкателя

Вячеслав Дмитриевич Бородулин

*Студент 3 курса,
кафедра «Технология машиностроения»
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.А. Головин,
доктор технических наук, профессор кафедры «Теория механизмов и машин»*

Введение

В основе данной работы лежит задача, изложенная в [1]: найти профиль кулачка привода механизма переноса заготовки, обеспечивающий минимальное значение максимальной скорости переноса. Радиусы участков постоянного радиуса равны 87.353 и 150мм; угол рабочего участка профиля кулачка 137°. Постановка задачи связана с тем, что движение заготовки происходит по дуге окружности с действием на нее центробежных сил, которые могут привести к выбросу заготовки из захвата.

Задача определения теоретического и конструктивного профиля кулачка была в [1] решена с помощью пошаговой сплайн аппроксимации с использованием сплайнов 3-го порядка из условия непрерывности функции, описывающей весь профиль кулачка, а также первой и второй ее производных по угловой координате. Здесь следует отметить, что использование сплайнов 3-го порядка приводит к скачкам ускорения, что может сказаться на динамике механизма.

Однако особенности кинематики и динамики кулачковых механизмов определяются формой профиля кулачка, то есть его кривизной, в которую входят функция положения толкателя (зависимость положения толкателя от положения кулачка), аналоги скорости и ускорения толкателя. Таким образом, задачу оптимального проектирования можно упростить за счет максимального использования аналитических методов [2].

Таким образом, задача сводится к задаче о минимизации аналога ускорения толкателя при заданных ходе толкателя и его угле подъема.

Постановка задачи

Рассмотрим кинематику кулачкового механизма с прямолинейно движущимся толкателем (рис.1). Принцип рассмотрения кинематики кулачкового механизма с коромысловым толкателем будет таким же, но формулы будут более громоздкими. Объектом рассмотрения будет фаза удаления.

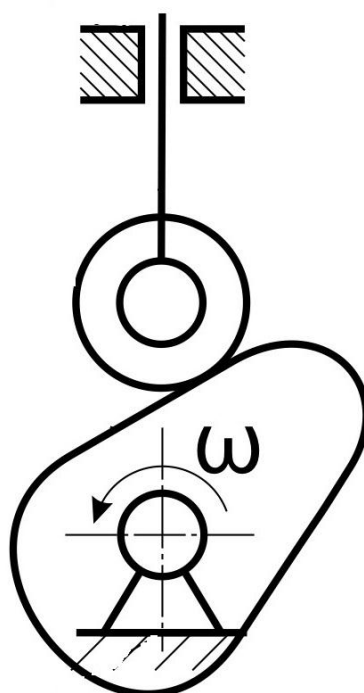


Рис. 1. Пример кулачкового механизма с прямолинейно движущимся толкателем

Рассмотрим следующие варианты распределения аналога ускорений на фазе удаления толкателя:

1. Базовый закон – симметричный с постоянным значением a_q ;
2. Косинусоидальный как наиболее популярный;
3. Полином 2-й степени;
4. Полином 4-й степени с нулевым начальным условием;
5. Полином 4-й степени с ненулевым начальным условием.

В случае полиномиальной аппроксимации закона движения целесообразно использовать подход, изложенный в [3, 4]. В соответствии с [3,4] минимальная степень полинома определяется общими граничными условиями. В случае полно оборотного кулачкового механизма с начальной и конечной нулевой скоростью на фазах удаления и сближения толкателя естественными являются 4 граничных условия (положениями толкателя и нулевыми значениями скоростей в начале и конце хода).

Для заданного хода H получаем следующие общие граничные условия:

$$\varphi = \varphi_{\text{нач}} \quad \begin{cases} S = 0 & (1) \\ V_q = 0 & (2) \end{cases}$$

$$\varphi = \varphi_{\text{п}} = \begin{cases} S = H & (3) \\ V_q = 0 & (4) \end{cases}$$

Для полинома 4-й степени добавляются дополнительные граничные условия:

$$\varphi = \frac{111\pi}{180} \quad a_q = 0 \quad (5)$$

Тогда

- *Полином 2-й степени*
 $a_q = -238 + 440\varphi - 163\varphi^2$
- *Полином четвертой степени с ненулевым начальным условием*
 $a_q = -1129 + 3450\varphi - 3800\varphi^2 + 1870\varphi^3 - 347\varphi^4$
- *Полином четвертой степени с ненулевым начальным условием*
 $a_q = -1129 + 3450\varphi - 3800\varphi^2 + 1870\varphi^3 - 347\varphi^4$
- *Полином четвертой степени с ненулевым начальным условием*
 $a_q = 3450\varphi - 3800\varphi^2 + 1870\varphi^3 - 347\varphi^4$

Построение функций ускорений для всех вариантов и сравнение результатов
Построим рассмотренные функции ускорения толкателя и сравним их наложением.

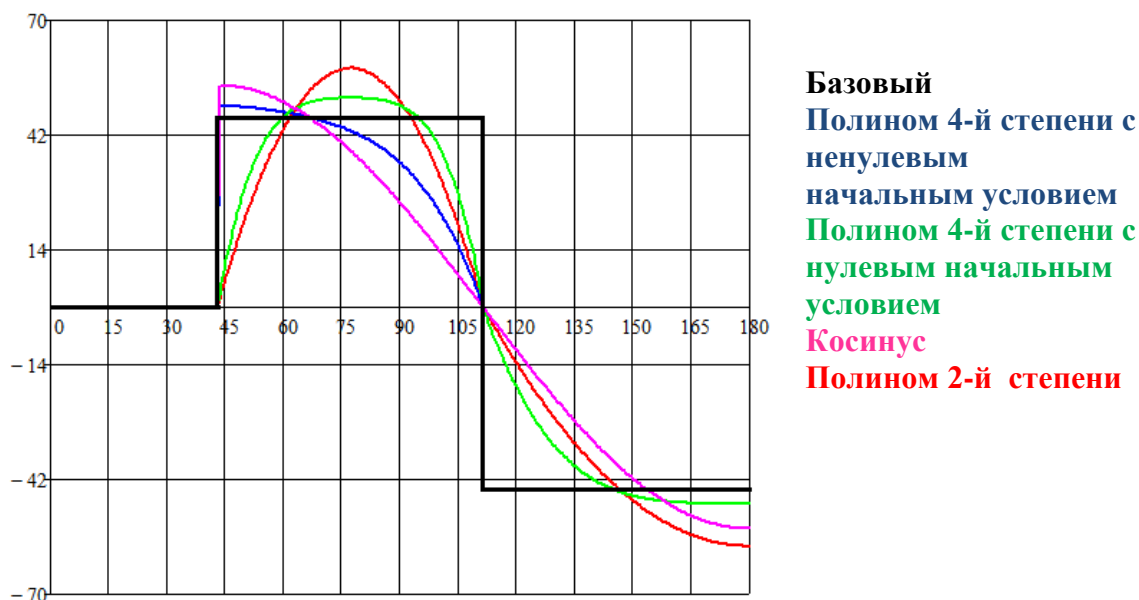


Рис. 2. Функции ускорений толкателя при заданном ходе и $\varphi_{\text{под}} = 137^\circ$

Гистограмма экстремальных ускорений рассмотренных методов

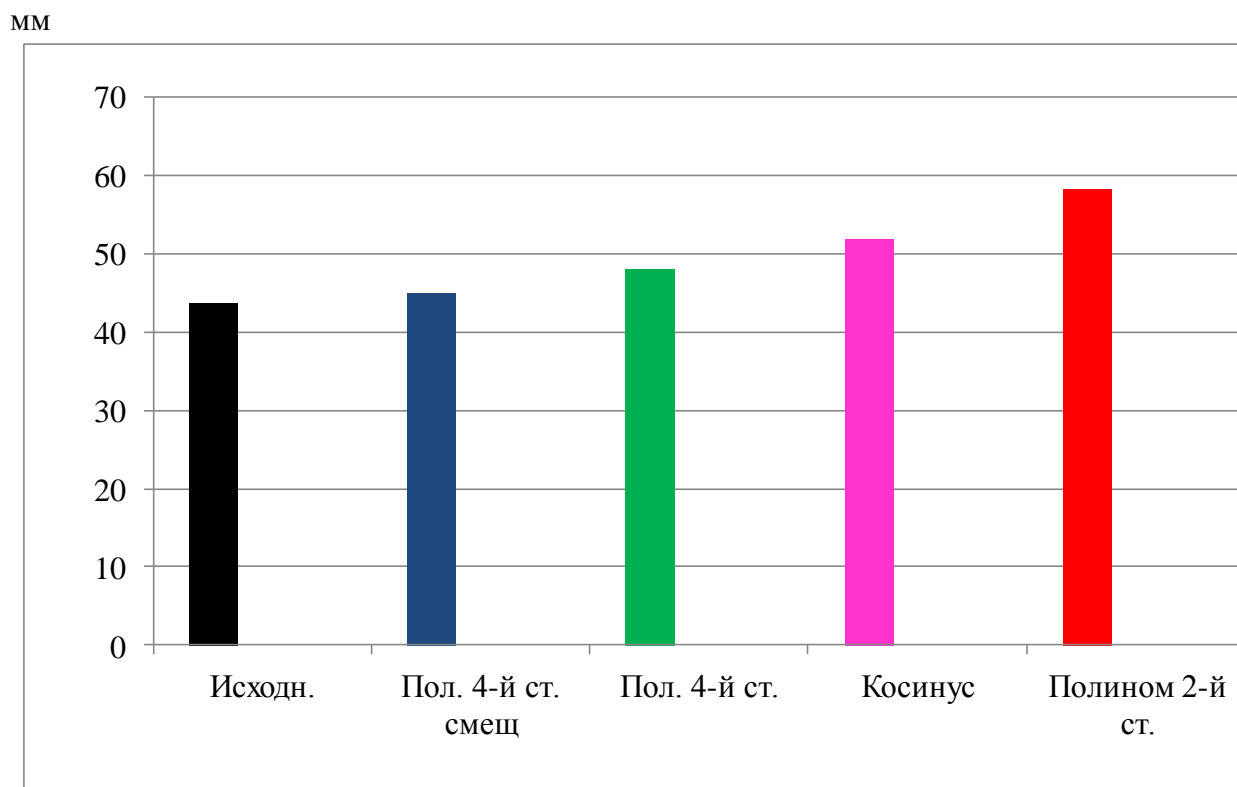


Рис. 3. Гистограмма экстремальных ускорений

Из приведенной гистограммы (рис. 3) видно, что наиболее приближенным к базовому является *полином четвертой степени с ненулевым начальным условием*, отклонение которого составляет 1.3 мм/рад^2 при неизменном ходе толкателя.

Построение метрических характеристик и определение теоретической погрешности

Построим диаграммы метрических характеристик для базового и наиболее приближенного закона ускорения – *полином 4-й степени с ненулевым начальным условием* и определим теоретическую погрешность перемещения толкателя.

Базовый Полином 4-й степени с ненулевым начальным условием

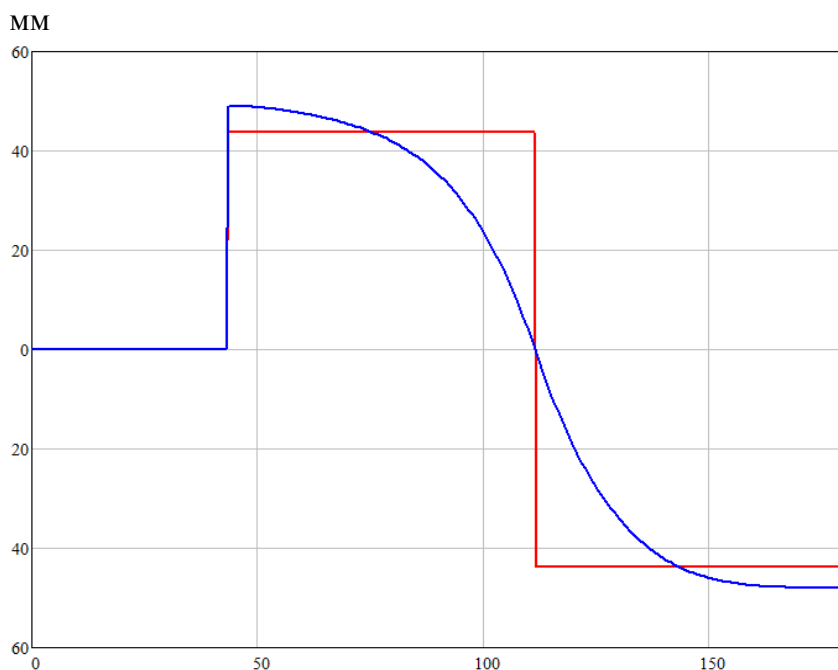


Рис. 4. Диаграмма ускорений толкателя

Базовый Полином 4-й степени с ненулевым начальным условием

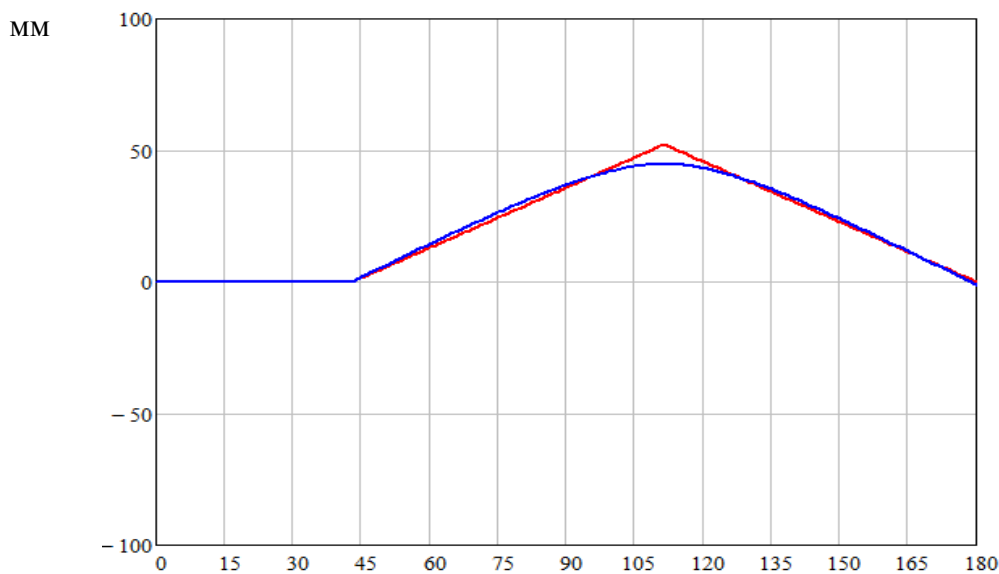


Рис. 5. Диаграмма скоростей толкателя

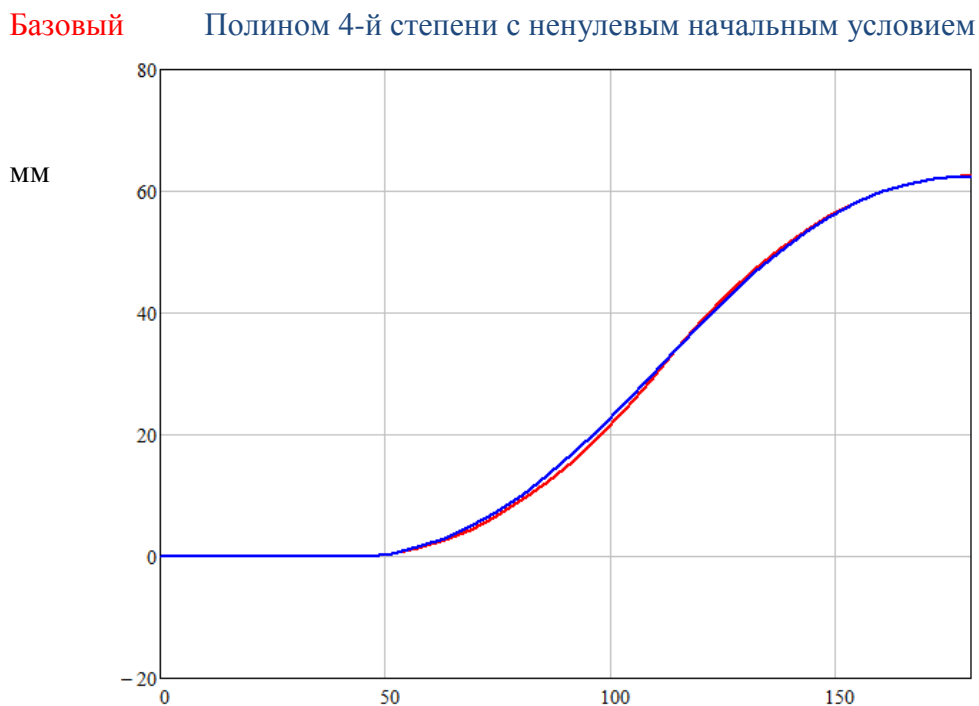


Рис. 6. Диаграмма перемещения толкателя

На основе диаграммы перемещения имеем график теоретической погрешности перемещения толкателя

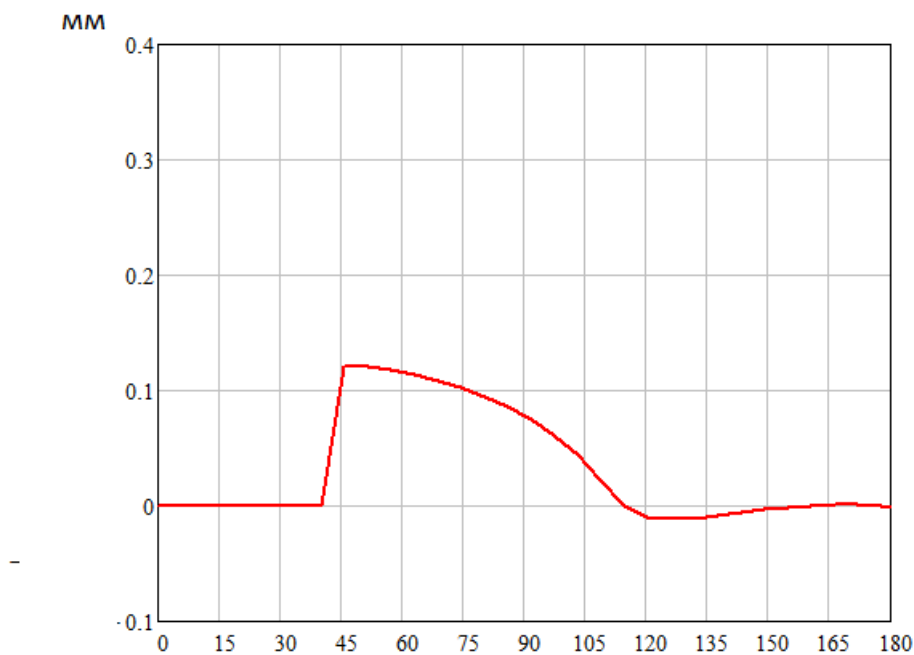
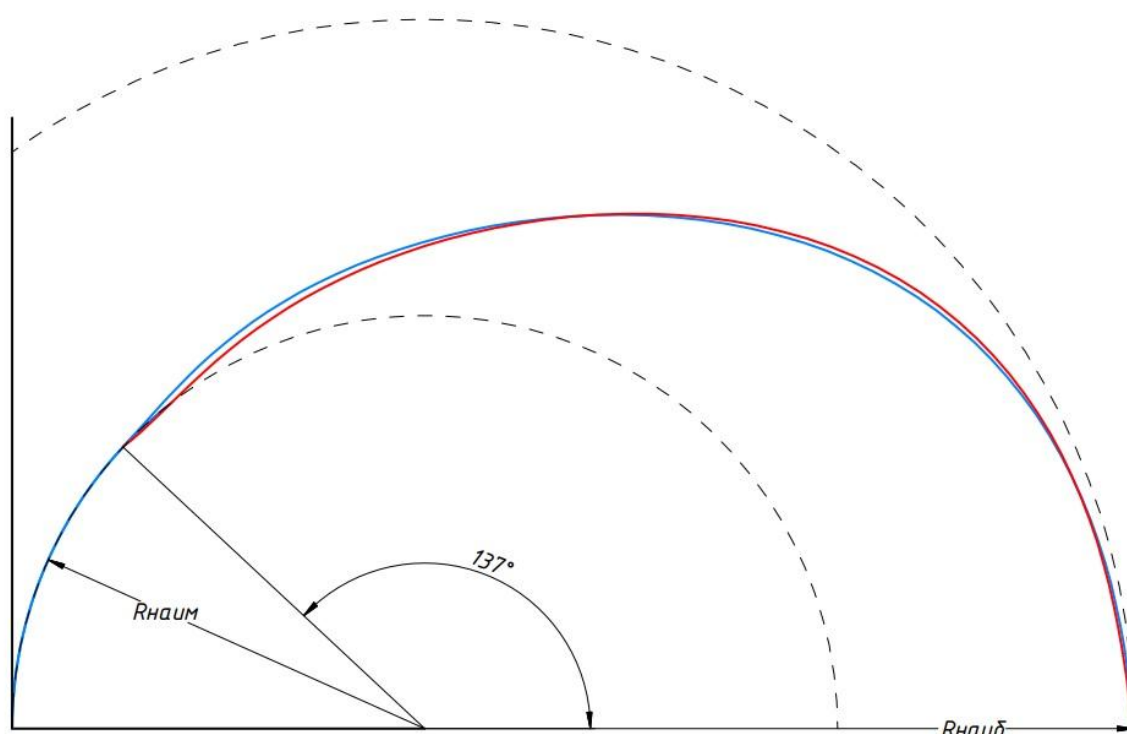


Рис. 7. График теоретической погрешности перемещения толкателя

Построение конструктивных профилей

Произведем построение конструктивных профилей кулачков при $R_{\text{наим}}=87.353\text{мм}$, $R_{\text{наиб}}=150\text{мм}$, $\varphi_{\text{под}} = 137^\circ$, полученных на основе базового закона изменения ускорения толкателя и полинома 4-ой степени с ненулевым условием, как наиболее приближенного к исходному.



Базовый Полином 4-й степени с ненулевым начальным условием

Рис. 8. Конструктивные профили кулачков

Выводы

1. Задачу минимизации аналога ускорения при проектировании кулачковых механизмов можно решить методом полиномиальной аппроксимации, что позволяет реализовать закон движения без скачков ускорений на рабочем участке фазы удаления толкателя.

2. Наилучший результат получен при аппроксимации закона движения полиномом 4-й степени с ненулевым начальным ускорением.

3. Технологическая реализуемость предлагаемого подхода определяется технологическими возможностями оборудования.

Литература

1. Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н.: Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для вузов / Под ред. Л.И. Живова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 560 с., ил.
2. А. Головин, М. Чекарелли, «Использование моделей и реальных механизмов в курсе Теория механизмов и машин: альбом иллюстративного материала по курсу Теория механизмов и машин»: Электронное издание // Регистрационное свидетельство №16335 от 21.05.2009/ Гос. Регистр. №0320900972
3. Г.А. Рот Барт (Harold A. Roth Bart: Cams – Design, Dynamics and Accuracy): Кулачковые механизмы – проектирование, динамика и вопросы точности изготовления. – Л., 1960. – 336 с.
4. P. Antonescu: Mechanisms and Machine Science (Synthesis with Polynomial Functions). – Bucharest, 2005. – 268 p.