

УДК 621.01

СИНТЕЗ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА ПО ЗАДАННОЙ СКОРОСТИ НАЧАЛА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ

Бохонов Глеб Юрьевич

*Студент 3 курса,
кафедра «Технологии обработки материалов»
Московский государственный технический университет*

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

Введение

В основе данной работы лежит задача, изложенная в [1]: найти профиль кулачка привода штамповочного автомата для механизма отрезания заготовки от прутка, обеспечивающий максимальную скорость ножа отрезного инструмента втулочного типа при его перемещении от исходного положения на 2,9 мм. Радиусы участков выстоя в крайних положениях толкателя равны 62,5 и 80 мм, угол рабочего участка профиля кулачка 60° , радиус ролика – 10 мм.

Постановка задачи связана с тем, что с повышением скорости отрезания повышается качество реза, а втулочный тип отрезного инструмента ограничивает ход ножа до начала реза.

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. В результате оптимизации достигнуты скорости начала и конца резки 0,753 – 1,0 м/с при ходе разгона 2,9 мм. Следует отметить, что использование сплайнов 3-го порядка приводит к скачкам ускорения, что может сказаться на динамике механизма.

Однако можно упростить задачу оптимального проектирования за счет максимального использования аналитических методов. В нашем случае целесообразно использовать подход, изложенный в [2, 3], а именно, полиномиальную аппроксимацию закона движения.

В соответствии с [2, 3] 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).

Постановка задачи

Рассмотрим кинематику кулачкового механизма с прямолинейно движущимся толкателем (принцип рассмотрения кинематики кулачкового механизма с коромысловым толкателем будет таким же, но формулы будут более громоздкими). Объектом рассмотрения будет фаза удаления. Расчет фазы сближения, в принципе, проводится аналогично.

Для заданного хода H получаем следующие граничные условия:

$$\varphi = \varphi_{yo} \Rightarrow v_q = 0; \quad (1)$$

$$\varphi = 0 \Rightarrow s = 0; \quad (2)$$

$$\varphi = \varphi_{y\partial} \Rightarrow s = H; \quad (3)$$

$$\varphi = 0 \Rightarrow v_q = 0; \quad (4)$$

Таким образом, функция положения описывается, по крайней мере, полиномом 3-го порядка. Однако в нашей задаче выдвинуты дополнительные условия:

$$\varphi = \varphi_1 \Rightarrow s = h; \quad (5)$$

$$\varphi = \varphi_1 \Rightarrow v_q = \frac{v}{\omega}; \quad (6)$$

$$\varphi = \varphi_1 \Rightarrow v_q = v_q^{нб} \Rightarrow a_q = 0; \quad (7)$$

В связи с этими дополнительными условиями функция положения описывается полиномом 5-го порядка.

Форма профиля кулачка для заданного закона перемещения толкателя зависит от величины наибольшего аналога скорости:

$$v_q^{нб} = \frac{v^{нб}}{\omega};$$

Однако в [1] угловая скорость кулачка не указана. Поэтому имеет смысл определить диапазон возможных угловых скоростей кулачка, исходя из значения допустимого угла давления $[\nu]$. Для кулачковых механизмов с поступательным толкателем $[\nu] \approx 30^\circ$, для кулачковых механизмов с коромысловым толкателем $[\nu] \approx 60^\circ$. Таким образом, можно предположить из [4] для $(R_{nm} + h) = 0,065 \text{ м}$:

$$v_q^{нб} = (R_{nm} + h) \operatorname{tg}[\nu] \approx (0,04 - 0,12) \text{ м},$$

что для заданной скорости толкателя $v^{нб} = 1 \text{ м/с}$ соответствует угловой скорости кулачка: $\omega = 10 - 25 \text{ рад/с}$.

На основании вышеизложенного можно предложить решение следующих задач:

1. Построить полиномы 5-й степени для $\omega = 10; 15; 25 \text{ рад/с}$;
2. На базе этих полиномов построить центровые и конструктивные профили кулачков;
3. Дать сравнительный анализ результатов.

Построение полиномов 5-й степени по заданным условиям

Для определения закона движения толкателя (при подъеме) запишем закон перемещения толкателя через полином 5-й степени и продифференцируем его дважды:

$$S(\varphi) = a_0 + a_1\varphi + a_2\varphi^2 + a_3\varphi^3 + a_4\varphi^4 + a_5\varphi^5; \quad (8)$$

$$v_q(\varphi) = a_1 + 2a_2\varphi + 3a_3\varphi^2 + 4a_4\varphi^3 + 5a_5\varphi^4; \quad (9)$$

$$a_q(\varphi) = 2a_2 + 6a_3\varphi + 12a_4\varphi^2 + 20a_5\varphi^3; \quad (10)$$

Подставляя граничные условия (1) - (7) в систему уравнений получаем:

$$0 = a_0; \quad (11)$$

$$0 = a_1; \quad (12)$$

$$H = a_0 + a_1\varphi_{y\partial} + a_2\varphi_{y\partial}^2 + a_3\varphi_{y\partial}^3 + a_4\varphi_{y\partial}^4 + a_5\varphi_{y\partial}^5; \quad (13)$$

$$0 = a_1 + 2a_2\varphi_{y\partial} + 3a_3\varphi_{y\partial}^2 + 4a_4\varphi_{y\partial}^3 + 5a_5\varphi_{y\partial}^4; \quad (14)$$

$$h = a_0 + a_1\varphi_1 + a_2\varphi_1^2 + a_3\varphi_1^3 + a_4\varphi_1^4 + a_5\varphi_1^5; \quad (15)$$

$$\frac{v^{нб}}{\omega} = a_1 + 2a_2\varphi_1 + 3a_3\varphi_1^2 + 4a_4\varphi_1^3 + 5a_5\varphi_1^4; \quad (16)$$

$$0 = 2a_2 + 6a_3\varphi_1 + 12a_4\varphi_1^2 + 20a_5\varphi_1^3; \quad (17)$$

Решая систему уравнений для $\omega = 10; 15; 25$ рад/с находим углы поворота кулачка, при которых выполняется условие (7), при этом $\varphi_1 \in (0; \pi/3)$:

Таблица 1. Определение угла поворота кулачка

ω , рад/с	$v^{нб}$, м	φ_1 , рад	Оценка результата	№ решения
10	0,1	4,5475	Не входит в промежуток	
		0,8356	Подходит	1
		0,5683	Подходит	2
		-3,3763	Не входит в промежуток	
15	0,067	3,9800	Не входит в промежуток	
		0,6916	Подходит	3
		0,6437	Подходит	4
		-2,7613	Не входит в промежуток	
25	0,04	3,4584	Не входит в промежуток	
		1,0472	Не входит в промежуток	
		0,1056	Подходит	5
		-2,1651	Не входит в промежуток	
10, 15, 25	0,1; 0,067;0,04	0,5236±0,2342i	Комплексные числа	
		1.0472±0.0001i		

Для найденных φ_1 определим коэффициенты полинома:

Таблица 2. Коэффициенты полинома

№ решения	φ_1 , °	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
1	47°53'	0	0	-0.649	2.344	-2.630	0.952
2	32°33'			-0.220	0.268	0.164	-0.195
3	39°63'			-0.374	1.209	-1.213	0.395
4	36°88'			-0.347	1.033	-0.953	0.283
5	6°3'			0.426	-1.807	2.359	-0.962

Подставляя значения из таблицы 2 в уравнения (8) – (10) строим функции положения для 5 φ_1 :

- 1 - - - - -
- 2 —————
- 3 - · - · - ·
- 4 - · - - - ·
- 5 — · - - - ·

Рис 1. Виды линий в соответствии с № решения

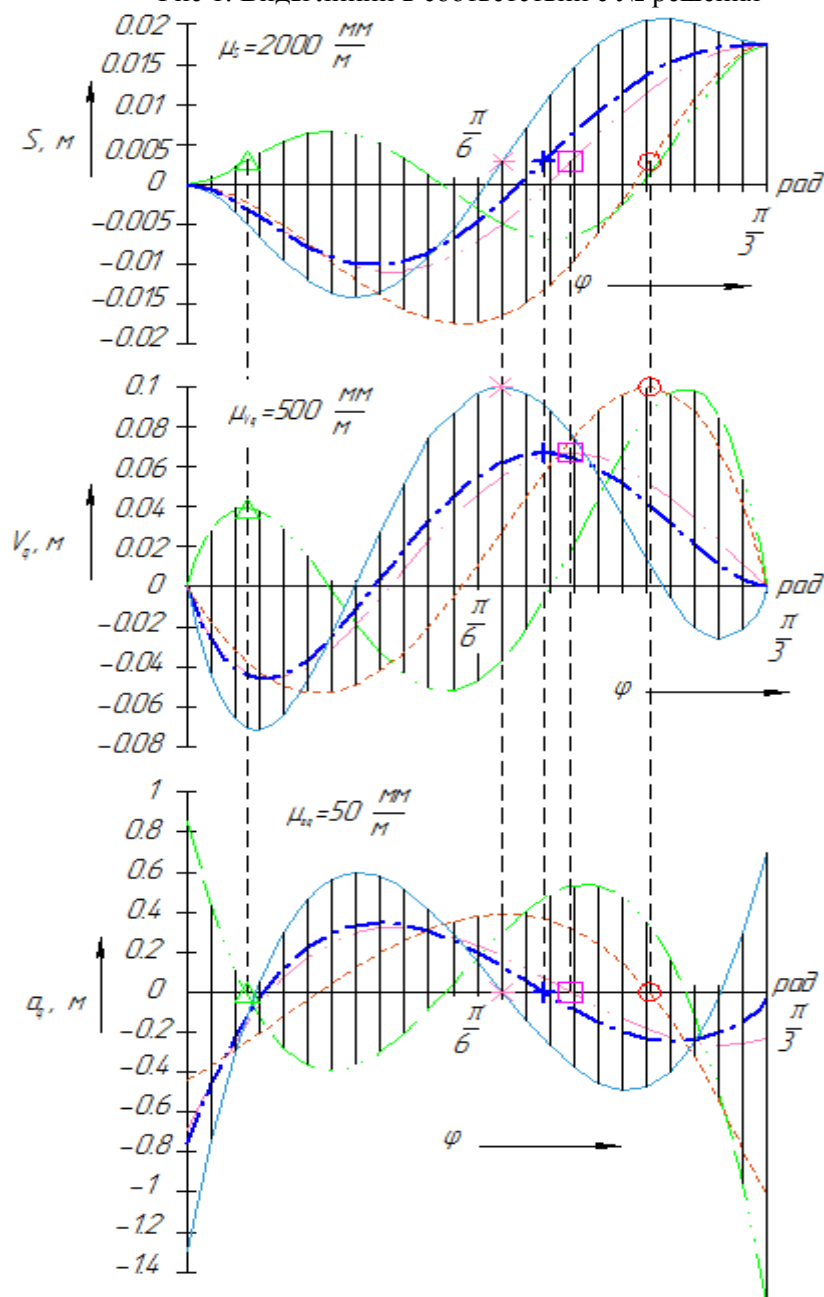


Рис 2. Графики S, v_q, a_q с наложением

Построение теоретических и конструктивных профилей кулачков

Для построения теоретического (центрового) профиля кулачка на графике $s(\varphi)$ выберем 24 точки с шагом 2.5° и отложим их на расстоянии $R_p = 10$ мм от окружности радиуса $R_{нач} = 62,5$ мм:

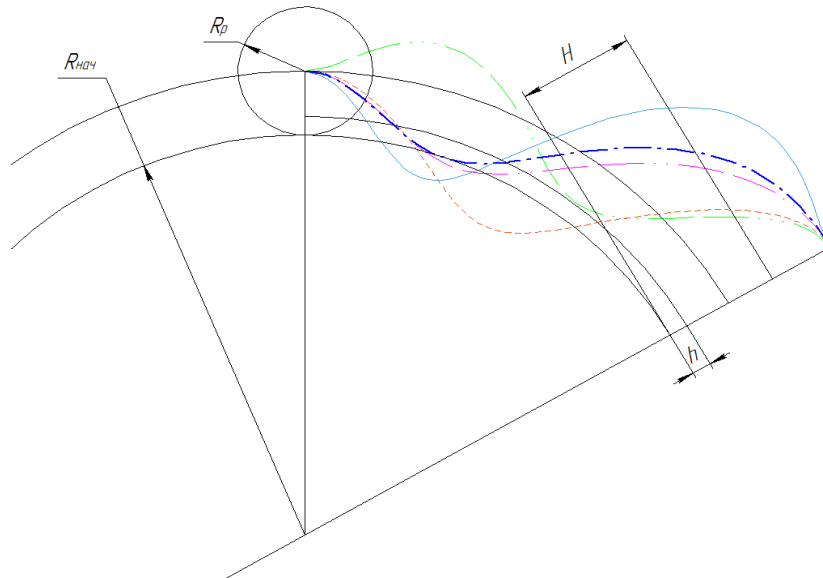


Рис. 3. Теоретические профили кулачка с наложением

Для перехода от центрального профиля к конструктивному воспользуемся функцией «эквидистанта кривой» из [5]. Для $\omega_1 = 10$ рад/с и $\varphi_1 = 47^\circ 53'$:

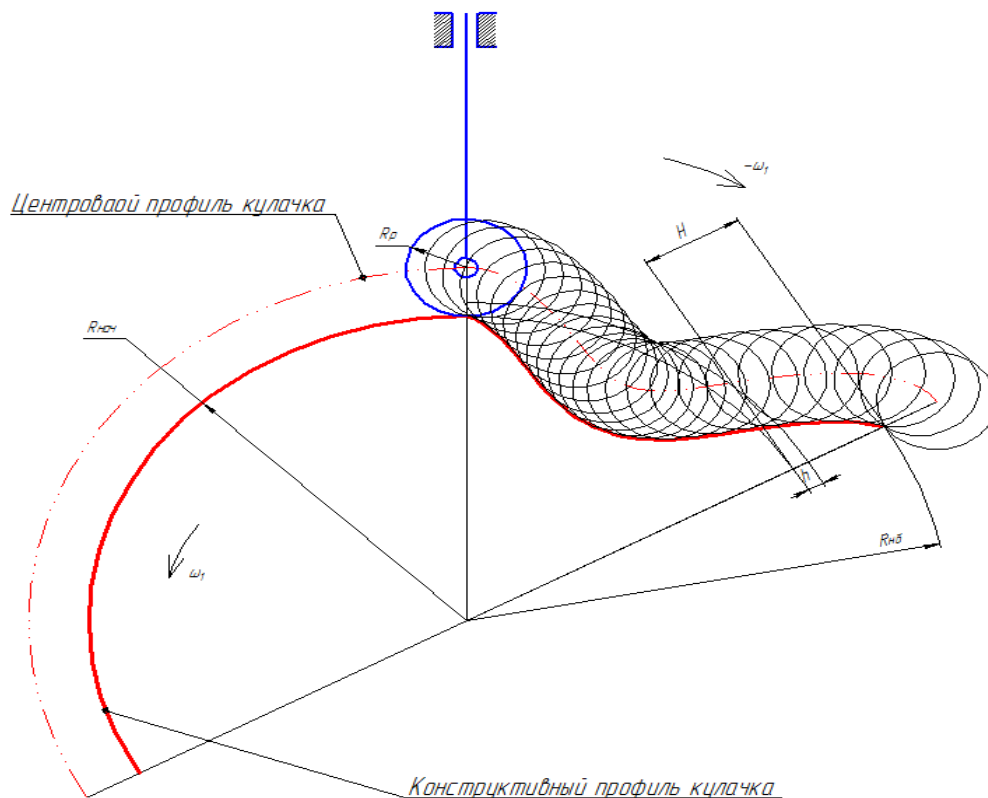


Рис. 4. Переход от теоретического профиля к конструктивному (наихудший вариант)

При переходе от теоретического профиля к конструктивному выбираем два наилучших варианта, у которых $\omega = 15 \text{ рад/с}$:

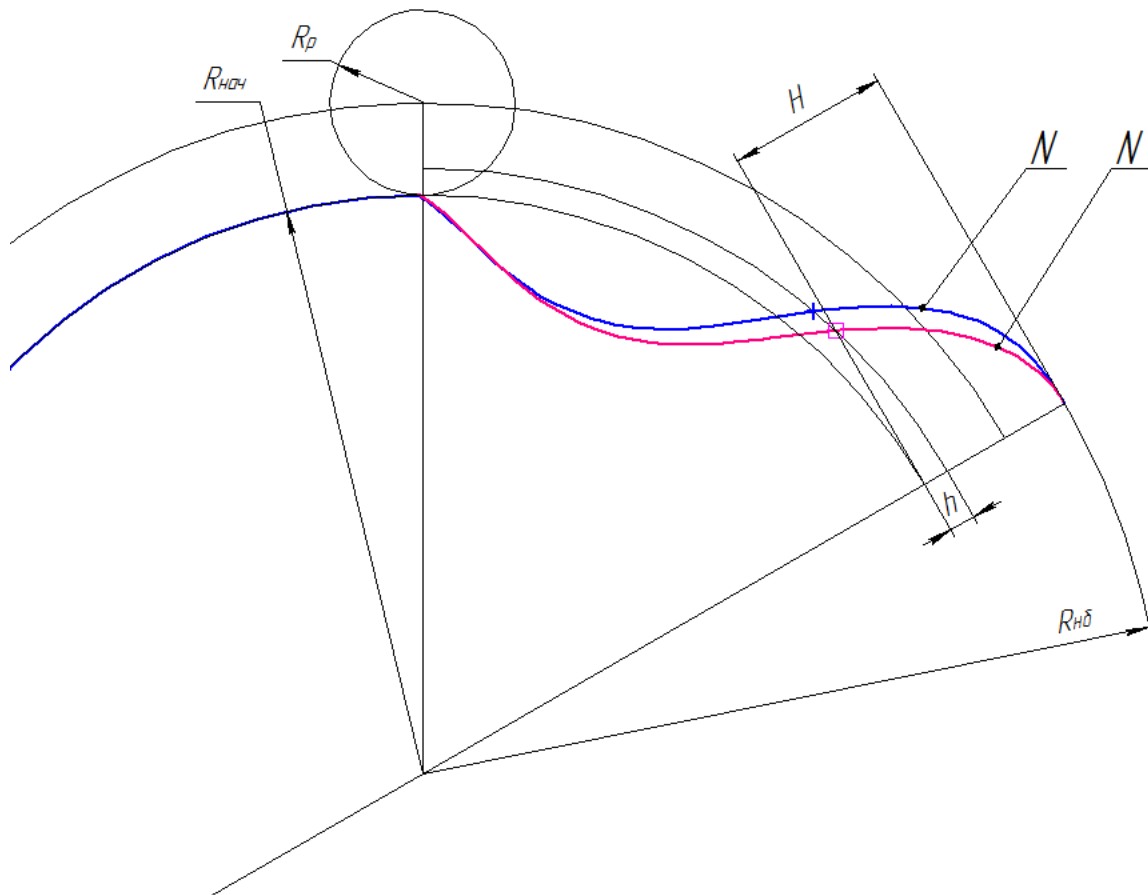


Рис. 5. Конструктивные профили кулачков NN при $\omega = 15 \text{ рад/с}$

Выводы

1. Показана возможность полиномиальной аппроксимации закона движения толкателя для синтеза кулачкового механизма по заданной скорости начала технологической операции. Достаточным оказалось использование полинома пятой степени. Определены коэффициенты полиномов для $\omega = 10; 15; 25 \text{ рад/с}$.
2. Условием существования кулачковых механизмов удовлетворяют 2 решения для $\omega = 10 \text{ рад/с}$, 2 решения для $\omega = 15 \text{ рад/с}$ и 1 решение для $\omega = 25 \text{ рад/с}$.
3. Проведен синтез центрального и конструктивного профилей кулачкового механизма с центральным поступательно движущимся роликовым толкателем по заданной скорости начала технологической операции $v^{нб} = 1 \text{ м/с}$ для угловых скоростей $\omega = 10; 15; 25 \text{ рад/с}$.
4. Анализ полученных результатов позволил выбрать два наилучших конструктивных профиля кулачкового механизма для $\omega = 15 \text{ рад/с}$.
5. Показана целесообразность более тщательной аналитической подготовки для численного решения задачи.

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. Г.А. Ротбарт (Harold A. Rothbart: Cams – Design, Dynamics and Accuracy): Кулачковые механизмы – проектирование, динамика и вопросы точности изготовления. – Л., 1960. – 336 с.
3. P. Antonescu: Mechanisms and Machine Science (Synthesis with Polynomial Functions). – Bucharest, 2005. – 268 p.
4. 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.
5. Компас-3D, инструменты – геометрия – эквидистанты - эквидистанта кривой.