

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА

*Исаченко Евгений Васильевич, студент 2-го курса*

*кафедры «Автомобили»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

*(Научный руководитель – Лебедева Г.И., канд. техн. наук, доцент)*

Решение технических задач отличается сложностью и многоэтапностью. Часто стандартные методы не способны учесть разнообразные нетипичные сценарии, что делает совершенствование подходов к решению этих задач важным направлением. Одним из эффективных методов оптимизации является математическое моделирование, которое позволяет более глубоко изучить процессы и выбрать оптимальное решение с минимальными затратами.

В данном контексте объектом моделирования является кулачковый механизм - устройство, состоящее из кулачка (или эксцентрика), шатуна и рычага. Обнаружено, что толкатель кулачкового механизма не движется равномерно, а проявляет нелинейное поведение в процессе своего движения. Это означает, что его скорость и ускорение изменяются нелинейно относительно времени или положения. Такие нелинейные движения могут быть вызваны различными факторами, такими как форма кулачка, взаимодействие с другими элементами механизма или особенности конструкции.

Обнаружено, что толкатель кулачкового механизма совершает криволинейные перемещения. Для более удобного и точного расчёта автор предпринял попытку упростить процесс путём построения математических моделей, воспользовавшись корреляционно-регрессионным анализом.

В процессе исследования были рассмотрены модели парабол различной степени сложности.

Описание работы кулачкового механизма проводилось также с помощью ряда Фурье. Рассматривали два случая движения толкателя, а) Движение толкателя подчинено параболическому закону. Расчёты производились по специально разработанной программе. Полученные в результате расчёта коэффициенты приведены в Таблице - 1.

Таблица 1 – Коэффициенты ряда Фурье

Гармоника	$S_B$		$i'_{31}$		$i''_{31}$		$\Delta w_1$		$\varepsilon_1$		$\Delta t$	
	$a_k$	$b_k$	$a_k$	$b_k$	$a_k$	$b_k$	$a_k$	$b_k$	$a_k$	$b_k$	$a_k$	$b_k$
1	-37,96	-9,357	-17,2	69,78	-39,24	-9,673	72,09	7,72	-9,595	62,09	-67,14	-7,049
2	-0,075	-0,039	-13,04	66,01	-6,418	-3,369	-3,659	8,894	-34,47	19,46	-10,26	-15,49
3	0,855	0,757	4,849	-5,43	1,551	1,375	-3,450	-1,155	-12,22	15,43	2,065	0,363
4	0,281	0,409	4,032	2,783	0,567	0,822	0,419	-1,749	12,49	-6,859	0,385	2,614
5	0,078	0,207	4,165	-1,579	0,11	0,289	1,029	0,547	8,91	-4,32	-0,759	1,096
6	0,005	0,039	4,007	-0,048	-0,029	-0,246	0,888	-0,175	7,471	-1,757	-0,679	0,176
$A_0$	36,81		0,0		-3,539		2,823		19,12		76,39	

б) Движение толкателя описывается с помощью закона, основанного на тригонометрических функциях.

Таблица 2 – Коэффициенты ряда Фурье, полученные в ходе вычислений

Гармоники	$S_T$ (путь)		$S'_T$ (скорость)		$S''_T$ (ускорение)	
	$a_k$	$b_k$	$a_k$	$b_k$	$a_k$	$b_k$
1	-0,0154	0,002	-0,0048	0,0386	0,104	0,0135
2	0,0009	0,0008			-0,00165	-0,0257
3	0,0006	-0,0003			-0,0258	-0,0005
4	-0,00012	-0,00027			-0,0157	0,01929
6	-0,0016	0,00006			-0,004	0,0022
8	0,00002	-0,00016				
11	-0,00017	0,00006				
12	0,000078	0,00002				
$A_0$	0		-0,00012		0	

В данном случае график ускорения представляет собой сложную форму. Для его описания были использованы два подхода: общая функция и комбинированная функция. Таблица – 2 содержит коэффициенты ряда Фурье, применённые в первом случае. Ряд Фурье показал хорошие результаты при аппроксимации по критерию Фишера. Построенные модели достаточно точно соответствуют фактическим данным.

Учитывая сложность графика ускорения, мы так же провели его описание с помощью комбинированного метода, используя корреляционно регрессивный анализ для первой половины графика ряд Фурье для второй половины. Это позволило получить следующие модели ускорения толкателя:

$$S''_{\tau 1} = 0,1189 - 0,2076x, \text{ где } x_1 = 0, x_n = 1,15, R = 0,9;$$

$$S''_{\tau 2} = -0,000000001 + 0,029 \cos \frac{2\pi x}{1,15} - 0,11805 \sin \frac{2\pi x}{1,15} - 0,006938 \cos \frac{4\pi x}{1,15} + 0,01321 \sin \frac{4\pi x}{1,15}.$$

Таблица 3 – Числовые значения коэффициентов ряда Фурье для выделенных участков

Гармоники	$S'_1$ (скорость)		$S'_2$ (скорость)	
	$a_k$	$b_k$	$a_k$	$b_k$
1	-0,0172	-0,0043	0,025	0,0061
2	-0,0034	-0,002	-0,0013	-0,00061
3	-0,0011	-0,0011		
4	-0,00035	-0,00045	-0,00045	-0,00065
5	-0,001	0,00036		
6	-0,00018	-0,00002		
$A_0$	0,0224		-0,0227	

Получение значения коэффициентов ряда Фурье для указанных участков представлены в таблице. Расчётные результаты скорости в соответствии с этими моделями практически совпадают с экспериментальными данными, что подтверждает их эффективность для практического применения. Наше исследование также охватило обратный процесс перехода от модели ускорения к скорости и от скорости к пути перемещения толкателя. Было установлено, что эти переходы могут быть осуществлены с использованием следующих формул:

$$S'_{m_{i+1}} = S'_{m_i} + 0,5(S''_{m_i} + S''_{m_{i+1}})\Delta\phi, \text{ где } S'_{m_i} = 0, i = \overline{1,13}, \Delta\phi = 0,096. \quad (1)$$

$$S_{m_{i+1}} = S_{m_i} + 0,5(S'_{m_i} + S'_{m_{i+1}})\Delta\phi, \text{ где } S_{m_i} = S'_{m_{13}}. \quad (2)$$

Расчётные значения  $S'_m$  и  $S_m$  по формулам (1) и (2) получаются близкими к экспериментальным.

Расчётные значения  $S'_\tau$  и  $S_\tau$  по формулам (1) и (2) получаются близкими к экспериментальным. Графики этих функций, рассчитанных по формулам (1), (2) и по ряду Фурье, совпадают по форме и очень близки друг к другу (рисунки 1-2).

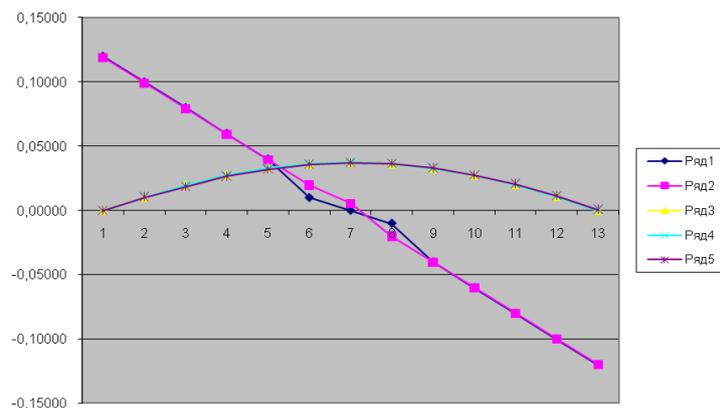


Рисунок 1

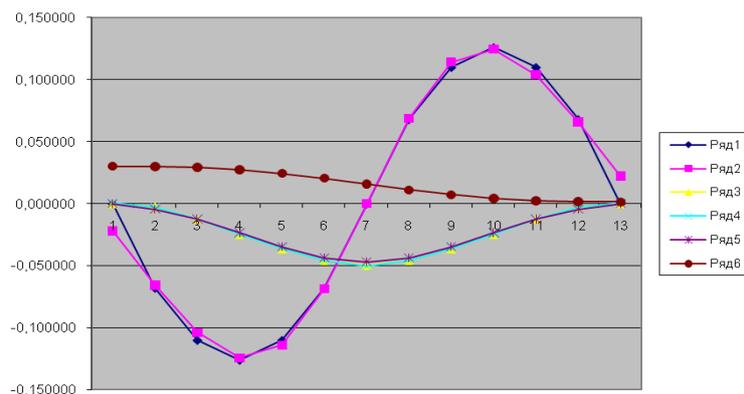


Рисунок 2

Для случая комбинированного описания ускорения по выделенным участкам совпадение идеальное (рисунок 3).

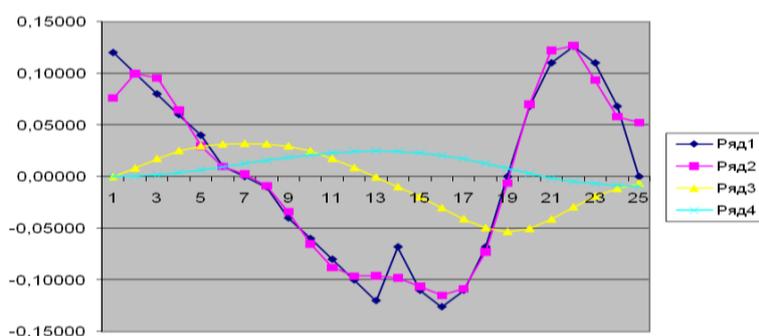


Рисунок 3

При общем описании ускорения единой кривой наблюдается небольшое отклонение у пути в последних двух точках (рисунок 3). Это объясняется тем, что ряд Фурье для ускорения в этих точках чуть-чуть не дотянул их до конца. Во всех остальных точках наблюдается полное совпадение.

Модели, рассчитанные по ряду Фурье, также хорошо описывают исследуемые параметры, имеют малую среднюю ошибку аппроксимации, хорошо согласуются с данными эксперимента (по критерию Фишера). И

модели линейной регрессии, и ряд Фурье рекомендуются для практического использования. Применение этих моделей существенно упростит трудоёмкость инженерных расчётов и улучшит качество проводимых разработок.

Исследуемые методы повысят точность проектирования и позволят усовершенствовать законы движения. Они позволяют подобрать оптимальный закон в сравнении с требуемым. Обеспечивается высокий КПД механизма.

#### Литература:

1. Герасимович, А.И. Теория вероятностей и математическая статистика. Часть 1 / А.И. Герасимович, Я.И. Матвеева. - Мн.: БПИ, 1975. - 194с.
2. Девойно, Г.Н. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / Г.Н. Девойно. - Мн.: Высшая школа, 1986. - 200с.
3. Лебедева, Г.И. Прикладная математика. Математическое моделирование в транспортных системах / Г.И. Лебедева, Н.А. Микулик. - Мн.: Асар, 2009. - 512с.