

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ
РАЗРАБОТКИ ИМИТАТОРА НАГРУЗКИ РУЛЕВОГО КОЛЕСА
АВТОМОБИЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА

В.М.Сирота, к.т.н., В.В.Шинкаренко, студент
Автодорожный институт ДонНТУ

Изложены результаты эксперимента по измерению радиального усилия на рулевом колесе автомобиля ЗИЛ-431410 при различных углах его поворота. Выполнена аппроксимация экспериментальных данных полиномом Лагранжа четвертой степени. С учетом практических потребностей в простоте конструкции нагрузочных устройств тренажеров, выведена квадратичная формула записи искомой зависимости.

Согласно существующей программы подготовки водителей [1] на начальной стадии обучения используются автомобильные тренажеры. При этом немаловажным фактором при обучении водителей вождению автомобиля является использование эффективных тренажеров. Одним из основных оценочных показателей конструкций, является степень приближенности имитируемых усилий на тренажере к реальным. Данный фактор непосредственно влияет на сроки и результаты обучения, полученные навыки, а в дальнейшем и на безопасность дорожного движения в целом.

Для создания тренажеров высокой эффективности обучения необходимо на стадии проектирования закладывать как можно более реальные функциональные зависимости между входными и выходными параметрами используемых нагрузочных механизмов. В данной работе рассматривается вопрос об определении подобной зависимости для нагрузочного устройства рулевого привода тренажера, имитирующего управление грузовым автомобилем.

Нагрузка на рулевом колесе реального автомобиля зависит от целого ряда параметров:

- конструктивные параметры автомобиля (конструкция рулевого привода и рулевого механизма, конструкция управляемого моста, а точнее углы наклона шкворней, реализующие определенную статическую и динамическую стабилизацию управляемых колес, масса автомобиля, приходящаяся на управляемый мост, применяемые шины);
- эксплуатационные параметры автомобиля (техническое

состояние рулевого привода и рулевого механизма, состояние шкворневых узлов, степень износа протектора шин, давление воздуха в шинах);

- условия и характер эксплуатации (продольный, поперечный профили и тип дорожного покрытия, скорость движения, степень загрузки автомобиля).

С точки зрения имитации реальной нагрузки на рулевом колесе в зависимости от угла поворота важно определить ее амплитуду и характер изменения. Что касается амплитуды, то она, согласно указанным выше параметрам, зависит главным образом от конструкции рулевого механизма, а точнее от его передаточного числа. Характер же изменения данной нагрузки определяется кинематикой рулевого привода, особенностями конструкции рулевого механизма (постоянное или переменное передаточное число) и рядом эксплуатационных параметров: скорость автомобиля, нагрузка на передний мост и техническое состояние рулевого управления в целом. В нашем случае для исследования был использован наиболее распространенный грузовой автомобиль ЗИЛ-431410. В соответствии с чем, исследованию подвергается рулевое управление с параметрами и нагрузками, представленными в таблице 1, [2].

Таблица 1 – Параметры и нагрузки рулевого управления.

№ п/п	Параметр	Размерность	Значение
1	Тип рулевого механизма	-	Винт – гайка с встроенным гидроусилителем
2	Передаточное число рулевого механизма	-	20
3	Нагрузка на управляемый мост	Н	21200
4	Скорость автомобиля	км/ч	30*
5	Техническое состояние рулевого управления	-	Исправно

*Значение скорости выбрано из условий обеспечения возможности и безопасности выполнения эксперимента.

При выполнении эксперимента были получены значения усилия $P(\alpha)$ Н, в зависимости от угла поворота рулевого колеса α рад., которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Экспериментальные данные.

Параметр	Размерность	Номер замера				
		1	2	3	4	5
А	рад.	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{2}$	$\frac{5\pi}{2}$	$\frac{7\pi}{2}$	$\frac{9\pi}{2}$
	град.	90	270	450	630	810
Р	Н	64,7	66,0	72,3	82,5	105,0

Значения усилий в таблице 2 будем аппроксимировать в зависимости от угла поворота рулевого колеса с помощью полинома Лагранжа [3]:

$$P(\alpha) = a_0 + a_1\alpha^1 + a_2\alpha^2 + a_3\alpha^3 + \dots + a_n\alpha^n, \quad (1)$$

где a_i – коэффициенты аппроксимации;
 n – степень полинома.

В рассматриваемом случае, согласно приведенных данных в таблице 2, степень полинома (1) принимаем на единицу меньше, чем число опытных данных, т.е. $n=4$.

Таким образом, аппроксимирующий многочлен будем искать в виде:

$$P(\alpha) = a_0 + a_1\alpha^1 + a_2\alpha^2 + a_3\alpha^3 + a_4\alpha^4. \quad (2)$$

При этом необходимо выполнение условия

$$D_4(\alpha_i) = D_i, \quad i = 0, 1, 2, 3, 4. \quad (3)$$

Для построения многочлена $P_4(\alpha_i)$, удовлетворяющего условиям (3), будем строить вспомогательные многочлены $F_i(\alpha)$ четвертой степени таким образом, чтобы каждый из них в узле α_i ($i = 0, 1, 2, 3, 4$) принимал значение 1, а в остальных узлах – нуль, т.е.

$$F_i(\alpha_j) = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \quad i = 0, 1, 2, 3, 4. \quad (4)$$

Например, многочлен $F_0(\alpha)$ построим так, чтобы в узле интерполирования $\alpha = \alpha_0$ он принимал значение $F_0(\alpha_0) = 1$, а в остальных узлах при α_i ($i = 1, 2, 3, 4$):

$$F_0(\alpha_1) = F_0(\alpha_2) = F_0(\alpha_3) = F_0(\alpha_4) = 0.$$

Такой многочлен имеет вид:

$$F_0(\alpha) = \frac{(\alpha - \alpha_1)(\alpha - \alpha_2)(\alpha - \alpha_3)(\alpha - \alpha_4)}{(\alpha_0 - \alpha_1)(\alpha_0 - \alpha_2)(\alpha_0 - \alpha_3)(\alpha_0 - \alpha_4)}.$$

В самом деле, узлы интерполирования $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ являются корнями многочлена $F_0(\alpha)$, следовательно, $F_0(\alpha_i) = 0$ $i = 1, 2, 3, 4$, а в точке $\alpha = \alpha_0$ числитель равен знаменателю, значит $F_0(\alpha_0) = 1$.

Далее строим многочлен $F_1(\alpha)$:

$$F_1(\alpha) = \frac{(\alpha - \alpha_0)(\alpha - \alpha_2)(\alpha - \alpha_3)(\alpha - \alpha_4)}{(\alpha_1 - \alpha_0)(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_1 - \alpha_3)(\alpha_1 - \alpha_4)}.$$

Ясно, что $F_1(\alpha_1) = 1$, а

$$F_1(\alpha_0) = F_1(\alpha_2) = F_1(\alpha_3) = F_1(\alpha_4) = 0.$$

Аналогичным образом строим многочлены $F_2(\alpha)$, $F_3(\alpha)$, $F_4(\alpha)$.

Искомый многочлен $P_4(\alpha)$ записываем в виде:

$$P_4(\alpha) = \sum_{i=0}^4 F_i(\alpha) \cdot P_i. \quad (5)$$

Поскольку многочлены $F_i(\alpha)$ удовлетворяют условиям (4), то функция $P_4(\alpha)$ будет автоматически удовлетворять в узлах интерполирования условиям (3). В развернутом виде она будет выглядеть таким образом

$$\begin{aligned}
D_4(\alpha) &= \frac{(\alpha-\alpha_1)(\alpha-\alpha_2)(\alpha-\alpha_3)(\alpha-\alpha_4)}{(\alpha_0-\alpha_1)(\alpha_0-\alpha_2)(\alpha_0-\alpha_3)(\alpha_0-\alpha_4)} D_0 + \frac{(\alpha-\alpha_0)(\alpha-\alpha_2)(\alpha-\alpha_3)(\alpha-\alpha_4)}{(\alpha_1-\alpha_0)(\alpha_1-\alpha_2)(\alpha_1-\alpha_3)(\alpha_1-\alpha_4)} D_1 + \\
&+ \frac{(\alpha-\alpha_0)(\alpha-\alpha_1)(\alpha-\alpha_3)(\alpha-\alpha_4)}{(\alpha_2-\alpha_1)(\alpha_2-\alpha_3)(\alpha_2-\alpha_4)} D_2 + \frac{(\alpha-\alpha_0)(\alpha-\alpha_1)(\alpha-\alpha_2)(\alpha-\alpha_4)}{(\alpha_3-\alpha_0)(\alpha_3-\alpha_1)(\alpha_3-\alpha_2)(\alpha_3-\alpha_4)} D_3 + \\
&+ \frac{(\alpha-\alpha_0)(\alpha-\alpha_1)(\alpha-\alpha_2)(\alpha-\alpha_3)}{(\alpha_4-\alpha_0)(\alpha_4-\alpha_1)(\alpha_4-\alpha_2)(\alpha_4-\alpha_3)} D_4 = \frac{\left(\alpha-\frac{3\pi}{2}\right)\left(\alpha-\frac{5\pi}{2}\right)\left(\alpha-\frac{7\pi}{2}\right)\left(\alpha-\frac{9\pi}{2}\right)}{(-\pi)(-2\pi)(-3\pi)(-4\pi)} 64,7 + \\
&+ \frac{\left(\alpha-\frac{\pi}{2}\right)\left(\alpha-\frac{5\pi}{2}\right)\left(\alpha-\frac{7\pi}{2}\right)\left(\alpha-\frac{9\pi}{2}\right)}{\pi(-\pi)(-2\pi)(-3\pi)} 66,0 + \frac{\left(\alpha-\frac{\pi}{2}\right)\left(\alpha-\frac{3\pi}{2}\right)\left(\alpha-\frac{7\pi}{2}\right)\left(\alpha-\frac{9\pi}{2}\right)}{2\pi\pi(-\pi)(-2\pi)} 72,3 + \\
&+ \frac{\left(\alpha-\frac{\pi}{2}\right)\left(\alpha-\frac{3\pi}{2}\right)\left(\alpha-\frac{5\pi}{2}\right)\left(\alpha-\frac{9\pi}{2}\right)}{3\pi \cdot 2\pi \cdot \pi(-\pi)} 82,5 + \frac{\left(\alpha-\frac{\pi}{2}\right)\left(\alpha-\frac{3\pi}{2}\right)\left(\alpha-\frac{5\pi}{2}\right)\left(\alpha-\frac{7\pi}{2}\right)}{4\pi \cdot 3\pi \cdot 2\pi \cdot \pi} 105.
\end{aligned}$$

Выполняя алгебраические преобразования и опуская промежуточные выкладки, получим искомую функцию $P_4(\alpha)$ в виде

$$D_4(\alpha) = \frac{0,3958\alpha^4}{\pi^4} - \frac{3,3500\alpha^3}{\pi^3} + \frac{11,83541\alpha^2}{\pi^2} - \frac{13,4625\alpha}{\pi} + 68,8664. \quad (6)$$

В качестве контроля достоверности полученного результата проверим выполнение условий (3)

$$\begin{aligned}
D_4\left(\frac{\pi}{2}\right) &= \frac{0,3958}{16} - \frac{3,3500}{8} + \frac{11,83541}{4} - \frac{13,4625}{2} + 68,8664 \approx 64,7, \\
D_4\left(\frac{3\pi}{2}\right) &= 65,9998 \approx 66,0, \\
D_4\left(\frac{5\pi}{2}\right) &= 72,2986 \approx 72,3, \\
D_4\left(\frac{7\pi}{2}\right) &= 82,4951 \approx 82,5, \\
D_4\left(\frac{9\pi}{2}\right) &= 104,98598 \approx 105,0.
\end{aligned}$$

Условия (3) выполняются, следовательно, интерполяционный

полином построен верно. Полученная зависимость, в представленном виде, имеет практическое значение в теории конструирования нагрузочных устройств тренажеров. В дальнейшем, для упрощения наладки нагрузочного устройства тренажера возможно полученный интерполирующий полином представить в виде квадратичной зависимости, которая дает достаточную сходимость в области от 0...360°:

$$D(\alpha, \delta \ddot{a}) = 68,9 - 4,6 \cdot \alpha + 0,8 \cdot \alpha^2. \quad (7)$$

Таким образом, данная работа позволила получить зависимость, связывающую усилие и угол поворота рулевого колеса в полной точной четырех степенной форме и приближенной – квадратичной.

Полученные данные нашли практическое применение при разработке и изготовлении автомобильного тренажера для повышения профессионального мастерства водителей на кафедре "Техническая эксплуатация автомобилей" Автомобильно-дорожного института ДонНТУ и получили достаточно высокую оценку за близкую к реальной имитацию усилия на рулевом колесе автомобиля.

Литература

1. Типовий навчальний план і програма підготовки водіїв на право керування автотранспортними засобами категорій "В" "С" Міністерства освіти України. –Київ: Компас, 1995. – 61 с.
2. Кузнецов А.С., Глазачев С.И. Автомобили моделей ЗИЛ – 4333, ЗИЛ – 4314 и их модификации: Устройство, эксплуатация, ремонт. – М.: Транспорт, 1996. – 288 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Определения, теоремы, формулы. – М.: Наука, 1984. – 832 с.

30.04.08