

Таким образом, чувствительность муфты к скорости нагружения можно определить ее коэффициентом динамической чувствительности, который должен быть учтен при проектировании привода.

УДК 629.113.65

Пирч А.И., Саболевский А.К., Астахов Э.И.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДВЕСА МАХОВИКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АВТОМОБИЛЯ С МАХОВИЧНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

В настоящее время ведется активная разработка альтернативных экологически чистых автомобилей, не требующих органического топлива. На наш взгляд перспективными являются маховичные автомобили с быстровращающимся маховиком [1]. Ранее в работах [2,4] авторов предложена схема и определены основные параметры автомобиля и модели с маховичным двигателем. Для исследования воздействия маховика на корпус автомобиля и его управляемость при маневрировании создается физическая масштабная модель [4]. Задачей данной работы является определение параметров подвеса корпуса маховика в этой физической модели.

Физическая модель представляет собой уменьшенную в масштабе 1:10 радиоуправляемую копию автомобиля. Схема трансмиссии представлена на рисунке 1. Цифрами обозначены: 1 – маховик; 2 – корпус маховика; 3 – подвес корпуса маховика к раме модели; 4 – сцепление; 5 – гибкий вал; 6 – вал; 7 – двухступенчатый цилиндрический редуктор; 8 – дифференциал; 9 – корпус модели; 10 – муфта для раскрутки маховика.

При повороте на горизонтальном участке дороги у модели автомобиля с маховичным двигателем не будут возникать динамические нагрузки, так как вертикальная ось автомобиля остается в неизменном положении, а ось собственного вращения маховика расположена вертикально.

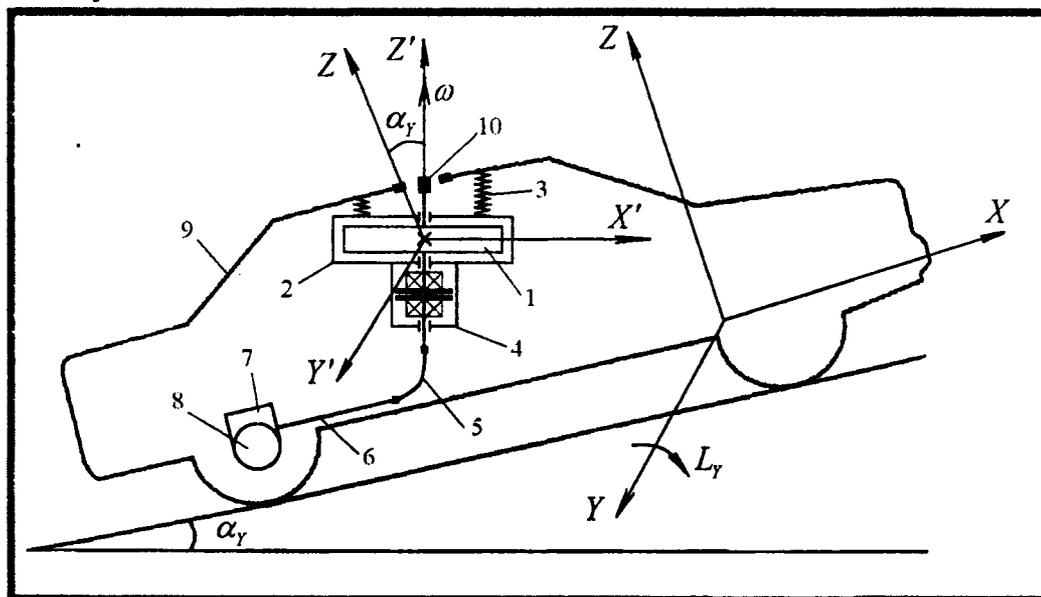


Рисунок 1 – Схема трансмиссии модели автомобиля с маховичным двигателем

При движении модели автомобиля с маховичным двигателем под гору (рисунок 1) ось  $z$  автомобиля 9 будет отклоняться от вертикальной оси вращения маховика  $z'$  на некоторый угол  $\alpha_\gamma$ . При этом будет возникать нутационные нагрузки, которые будут воздействовать на

корпус маховика, а через него и на раму автомобиля. Будут возможны два случая.

а) Автомобиль преодолевает искусственную неровность дороги («лежащий полицейский»). При этом преодолеваемый угол будет достаточно мал, зато будет наблюдаться большая частота колебаний возмущающей силы. Предположим, что она будет изменяться по синусоидальному закону:

$$\varphi_{y1} = \varphi_{0y1} \cdot \sin \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T_1},$$

где  $t$  – время преодоления препятствия,

$T_1$  – период возмущения,  $T_1 = 0.5$  с.

$$\varphi_{0y1} = \arctg \frac{h}{L} = \arctg \frac{0,01}{0,3} = 1,91 \text{ рад},$$

где  $\varphi_{0y1} = \alpha_Y$  – угловая амплитуда,

$h$  – высота неровности,

$L$  – колесная база автомобиля.

Продифференцировав данное выражение, получаем угловую скорость нутации:

$$\omega_{y1} = |\dot{\varphi}_{y1}| = \varphi_{0y1} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T_1} \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T_1}\right) = 1,91 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{0,5} \cdot \cos(4\pi \cdot t) = 24 \cdot \cos(4\pi \cdot t) \text{ рад/с.}$$

Найдем возмущающий момент нутации  $L_y$ , по методике литературы [3]:

$$L_{y1} = H \cdot \omega_{y1} = 2,64 \cdot \cos(4\pi \cdot t) \text{ Нм},$$

где  $H$  – кинетический момент маховика:

$$H = \frac{m \cdot R^2}{2} \cdot \omega = \frac{0,3 \cdot (0,05)^2}{2} \cdot 293 = 0,11 \text{ кг м}^2/\text{с},$$

где  $m$  – масса маховика,

$R$  – радиус маховика.

Таким образом, максимальные значения момента и частоты будут равны:

$$L_{y1} = 2,64 \text{ Нм},$$

$$f_{y1} = \frac{\omega_{y1}}{2 \cdot \pi} = \frac{24}{2 \cdot \pi} = 3,82 \text{ Гц.}$$

б) Автомобиль поднимается по длительному уклону.

$$\varphi_{y2} = \varphi_{0y2} \cdot \sin \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T_2} = 0,8 \cdot \sin \frac{\pi \cdot t}{T_2} \text{ рад},$$

где  $T_2 = 60$  с – период возмущения,

$$\varphi_{0y2} = 30^\circ = 1,01 \text{ рад.}$$

Угловая скорость нутации в этом случае будет равна:

$$\omega_{y2} = |\dot{\varphi}_{y2}| = \varphi_{0y2} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T_2} \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T_2}\right) = 1,01 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{60}\right) = 0,11 \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot t}{30}\right) \text{ рад/с,}$$

возмущающий момент равен:

$$L_{y2} = H \cdot \omega_{y2} = 0,012 \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot t}{30}\right) \text{ Нм.}$$

Максимальные значения при этом:

$$L_{y2} = 0,012 \text{ Нм},$$

$$f_{y2} = \frac{\omega_{y2}}{2 \cdot \pi} = \frac{0,11}{2 \cdot \pi} = 0,018 \text{ Гц.}$$

Как видно из расчетов, наиболее сильны возмущающие нагрузки, возникающие при преодолении моделью маховичного автомобиля мелких неровностей дороги.

При движении модели автомобиля с маховичным двигателем по наклонной поверхности дороги (рисунок 2) ось  $z$  автомобиля будет отклоняться от вертикальной оси вращения маховика  $z'$  на некоторый угол  $\alpha_x$ . При этом будет возникать прецессионные нагрузки, которые будут воздействовать на корпус маховика, а через него и на раму автомобиля. Также рассмотрим два случая.

а) Автомобиль преодолевает искусственную неровность дороги. Предположим, что угол также будет изменяться по синусоидальному закону

$$\varphi_{x1} = \varphi_{0x1} \cdot \sin \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T_1},$$

$$\varphi_{0x1} = \arctg \frac{h}{B_1} = \arctg \frac{0,01}{0,15} = 3,81^\circ,$$

где  $B_1$  – расстояние между колесами (колея) автомобиля.

Продифференцировав данное выражение, получаем угловую скорость прецессии  $\omega_{x1}$ :

$$\omega_{x1} = |\dot{\varphi}_{x1}| = \varphi_{0x1} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T_1} \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T_1}\right) = 3,81 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{0,5} \cdot \cos(4\pi \cdot t) = 47,85 \cdot \cos(4\pi \cdot t) \text{ рад/с.}$$

Найдем возмущающий момент прецессии:

$$L_{x1} = H \cdot \omega_{x1} = 5,26 \cdot \cos(4\pi \cdot t) \text{ Нм,}$$

где максимальные моменты и частоты будут равны:

$$L_{x1} = 5,26 \text{ Нм;}$$

$$f_{x1} = \frac{\omega_{x1}}{2 \cdot \pi} = \frac{47,85}{2 \cdot \pi} = 7,6 \text{ Гц.}$$

б) Автомобиль длительное время движется при поперечном уклоне дороги.

$$\varphi_{0x2} = \alpha_x = 30^\circ,$$

где  $h_c$  – высота центра тяжести автомобиля.

Угловая скорость прецессии в этом случае будет равна:

$$\omega_{x2} = |\dot{\varphi}_{x2}| = \varphi_{0x2} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T_2} \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T_2}\right) = 30 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{60}\right) = 3,14 \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot t}{30}\right) \text{ рад/с.}$$

Возмущающий момент:

$$L_{x2} = H \cdot \omega_{x2} = 0,35 \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot t}{30}\right) \text{ Нм.}$$

Максимальные значения при этом:

$$L_{x2} = 0,35 \text{ Нм,}$$

$$f_{x2} = \frac{\omega_{x2}}{2 \cdot \pi} = \frac{3,14}{2 \cdot \pi} = 0,5 \text{ Гц.}$$

В данном случае также будет наиболее опасен случай, когда автомобиль преодолевает мелкие неровности.

Таким образом становится ясно, что необходимо предусмотреть гибкие подвесы к раме, которые бы позволяли корпусу маховика изменять свое положение во время движения модели. В качестве таких подвесов предлагается использовать пружины, которые под действием веса маховика с корпусом, позволяют маховику перемещаться с тремя степенями свободы. Максимальные углы наклона корпуса маховика соответствуют максимальным углам горки  $\alpha_y = 30^\circ$  и косогора  $\alpha_x = 30^\circ$ , преодолеваемых моделью. К раме подвесы будут крепиться в трех точках, поскольку это минимально необходимое и достаточное количество опор для устойчивой фиксации корпуса.

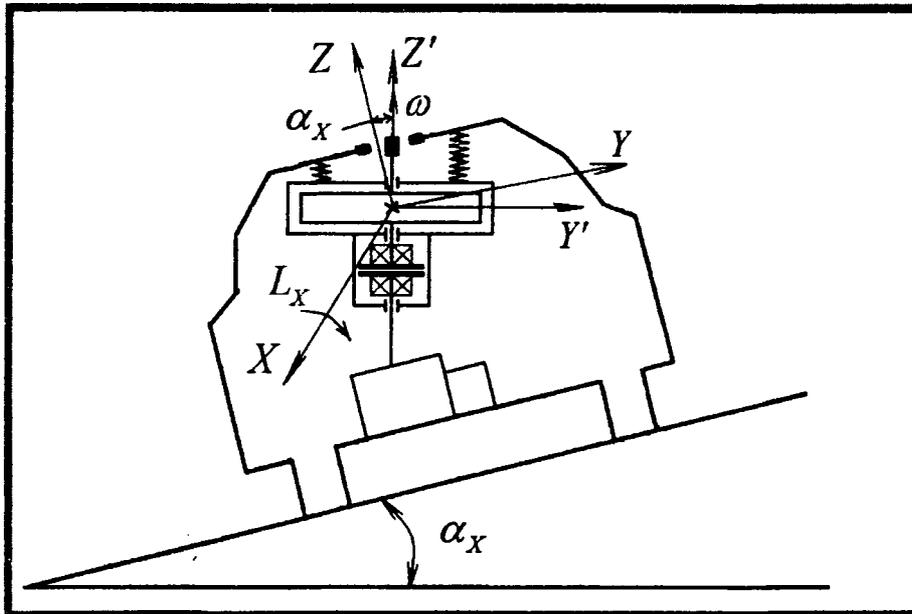


Рисунок 2 – Движение автомобиля по косогору

Поскольку корпус маховика будет подвижен, то и выходной вал также будет подвижен. Поэтому следует предусмотреть гибкий вал в трансмиссии модели. В качестве такой гибкой связи может выступать, например, резиновый вал.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гуля Н.В. Инерционные аккумуляторы энергии. //Воронеж, 1973, 240 с. 2. Пирч А.И., Саболевский А.К., Ходор А.Л. Разработка кинематической схемы и определение основных параметров автомобиля с маховичным двигателем. В сб. «Материалы научной конференции учащихся, студентов и аспирантов, посвященной 85-летию БНТУ». Минск, 15-17 ноября 2005 г. – Мн., БНТУ, 2005, с. 152 -157. 3. Саболевский А.К., Астахов Э.И. Определение динамических моментов и реакций на корпусе мобильной машины с маховичным двигателем. //Машиностроение. – Мн., 2006. Вып. 22. 4. Астахов Э.И., Пирч А.И., Саболевский А.К. Определение параметров физической модели мобильной машины с маховичным двигателем. //Теоретическая и прикладная механика – Мн., 2007. Вып. 22, с.233-237.

УДК 621.01

Гарах В.А., Астахов Э.И.

### ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАГРУЖЕННОСТИ ПОДШИПНИКОВ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ГУСЕНИЦ

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

В предыдущей работе [1] было рассмотрено динамическое исследование движения рычажного механизма стенда для испытания гусениц с определением действительной скорости и ускорения входного звена. В данной работе ставится задача определения динамической нагруженности подшипников рычажного механизма стенда с определением векторов действия реакций.