

передается на коническую передачу 6, которая используется для изменения направления потока мощности, поворачивая его на 90° относительно вертикальной оси маховика. Далее следует двухступенчатый клиноременной вариатор 7. Первая ступень автоматическая и предназначена для компенсации уменьшения скорости вращения маховика. Передаточное отношение изменяется с помощью исполнительного устройства 8. Вторая ступень регулируется педалью газа и служит для разгона автомобиля. После вариатора крутящий момент через карданную передачу и дифференциал передается на колеса автомобиля.

В результате исследования данной проблемы мы пришли к выводу о возможности дальнейшей конструкторской разработки автомобиля с маховичным двигателем.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гулия, Н. В. Маховичные двигатели.—М., 1976. 2. Джента, Дж. Накопление кинетической энергии: теория и практика современных маховичных систем. 3. Волновые передачи (сборник трудов) под ред. Цейтлина Н. И., Татищева В. Н.—М., 1975

УДК 629.113.65

Саболевский А.К., Астахов Э.И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОМЕНТОВ И РЕАКЦИЙ НА КОРПУСЕ МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ С МАХОВИЧНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

*Белорусский Национальный Технический Университет
Минск, Беларусь*

Объектом исследования является мобильная машина с маховичным двигателем на базе стандартного грузопассажирского автомобиля УАЗ-452 ДМ. Целью предлагаемой работы является: 1) исследование возмущающих сил и моментов, возникающих при движении автомобиля с маховичным двигателем по неровной дороге; 2) разработка методики расчета динамических моментов и частот, с которыми они воздействуют на корпус маховика; 3) способы компенсации данных динамических нагрузок и решение конструкции подвеса корпуса маховика к раме автомобиля.

При раскрутке маховика вследствие неполной отбалансированности ротора маховика возникает центробежная сила инерции. Так как маховик будет установлен в электромагнитном подвесе (поз. 2 Рисунок 2) и магнитные подшипники (поз. 1 Рисунок 2), то величина этой силы будет незначительна:

$$F_u = \Delta_s \cdot \omega^2 = 0.5 \cdot 10^{-6} \cdot 2.25 \cdot 10^6 = 1.125 \text{ Н},$$

где F_u – центробежная сила инерции, Δ_s – величина остаточной несбалансированности [2], ω – частота собственного вращения маховика.

Момент, с которым эта сила воздействует на корпус маховика, равен:

$$M_u = F_u \cdot \frac{b}{2} = 1.125 \cdot \frac{0.2}{2} = 0.1125 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где b – высота корпуса маховика.

Следует отметить, что момент центробежной силы инерции будет изменяться с частотой, равной частоте собственного вращения маховика ω :

$$f_u = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = \frac{1570}{2 \cdot 3.1416} = 238.73 \text{ Гц}.$$

При движении автомобиля с маховичным двигателем под гору (Рисунок 1) ось z автомобиля 1 будет отклоняться от вертикальной оси вращения маховика z' на некоторый угол. При этом будет возникать нутационные нагрузки, которые будут воздействовать на корпус маховика, а через него и на раму автомобиля. Будут возможны два случая.

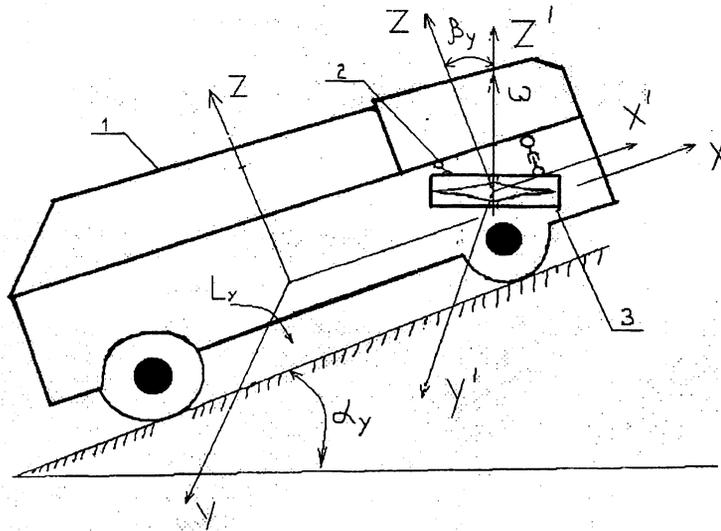


Рисунок 1. Движение автомобиля с маховичным двигателем под гору

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

$$\varphi_{0y1} = \arctg \frac{h}{L} = \arctg \frac{0.1}{2.65} = 0.0377 \text{ рад},$$

где h – высота неровности, L – колесная база автомобиля.

Продифференцировав данное выражение, получаем угловую скорость нутации

$$w_{y1} = \left| \dot{\varphi}_{y1} \right| = \varphi_{0y1} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T_1} \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T_1} = 0.0377 \cdot \frac{2 \cdot 3.1416}{0.5} \cdot \cos 4\pi t = 0.474 \cos 4\pi t \text{ рад/с}.$$

Найдем возмущающий момент нутации

$$L_{y1} = H \cdot w_{y1} = 7.9 \cdot 10^4 \cdot 0.474 \cos 4\pi t = 3.74 \cdot 10^4 \cos 4\pi t \text{ Н} \cdot \text{м} \quad [1],$$

где $H = m \cdot R^2 \cdot \omega = 190 \cdot 0.515^2 \cdot 1570 = 7.9 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}$ – кинетический момент маховика

где m – масса маховика, R – радиус маховика.

Таким образом, максимальные значения момента и частоты будут равны:

$$L_{y1} = 3.74 \cdot 10^4 = 37.4 \text{ кН},$$

$$f_{y1} = \frac{w_{y1}}{2 \cdot \pi} = \frac{0.474}{2 \cdot 3.1416} = 0.075 \text{ Гц}.$$

2). Автомобиль поднимается по длительному уклону. При этом преодолеваемый угол будет максимальным для базового автомобиля

$$\varphi_{y2} = \varphi_{0y2} \cdot \sin \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T_2} = 0.8 \cdot \sin \frac{\pi \cdot t}{T_2} \text{ рад},$$

где $T_2 = 60$ с – период возмущения, $\varphi_{0y2} = 46^\circ = 0.8 \text{ рад}$ [3].

Угловая скорость нутации в этом случае будет равна:

$$w_{y2} = \left| \dot{\varphi}_{y2} \right| = \varphi_{0y2} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T_2} \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T_2} = 0.8 \cdot \frac{2 \cdot 3.1416}{60} \cdot \cos \frac{\pi \cdot t}{30} = 0.084 \cos \frac{\pi \cdot t}{30} \text{ рад/с},$$

$$L_{y2} = H \cdot w_{y2} = 7.9 \cdot 10^4 \cdot 0.084 \cos \frac{\pi \cdot t}{30} = 0.66 \cdot 10^4 \cos \frac{\pi \cdot t}{30} \text{ Н} \cdot \text{м},$$

а возмущающий момент:

$$L_{y1} = 0.66 \cdot 10^4 = 6.6 \text{ кН},$$

$$f_{y2} = \frac{w_{y2}}{2 \cdot \pi} = \frac{0.084}{2 \cdot 3.1416} = 0.013 \text{ Гц}.$$

Максимальные значения при этом

Как видно из расчетов, наиболее опасны возмущающие нагрузки, возникающие при преодолении автомобилем с маховичным двигателем мелки неровностей дороги. Поэтому рассмотрим реакции на корпусе маховика, возникающие при первом случае:

1) реакция на подшипниках ротора маховика:

$$R_{y1} = \frac{L_{y1}}{b/2} = 3.74 \cdot 10^4 \frac{1}{0.1} \cos 4\pi t = 3.74 \cdot 10^5 \cos 4\pi t \text{ Н}.$$

Максимальное значение реакции будет равно: $R_{y1} = 374 \text{ кН}$.

2) реакция на подвесе корпуса маховика к раме автомобиля

$$R_{y2} = \frac{L_{y2}}{B/2} = 3.74 \cdot 10^4 \frac{1}{0.5} \cos 4\pi t = 7.48 \cdot 10^4 \cos 4\pi t \text{ Н},$$

где $B = 0.5 \text{ м}$ – расстояние между шарнирами подвеса. Максимальное значение при этом равно $R_{y2} = 74.8 \text{ кН}$.

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

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

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

$$\varphi_{0x1} = \text{arctg} \frac{h}{B_1} = \text{arctg} \frac{0.1}{1.442} = 0.069 \text{ рад},$$

где

где B_1 – расстояние между колесами (колея) автомобиля.

Продифференцировав данное выражение, получаем угловую скорость прецессии:

$$w_{x1} = \left| \dot{\varphi}_{x1} \right| = \varphi_{0x1} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T_1} \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T_1} = 0.069 \cdot \frac{2 \cdot 3.1416}{0.5} \cdot \cos 4\pi t = 0.867 \cos 4\pi t \text{ рад/с}.$$

Найдем возмущающий момент прецессии:

$$L_{x1} = H \cdot w_{x1} = 7.9 \cdot 10^4 \cdot 0.867 \cos 4\pi t = 6.85 \cdot 10^4 \cos 4\pi t \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$L_{x1} = 68.5 \cdot 10^4 = 68.5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$f_{x1} = \frac{w_{x1}}{2 \cdot \pi} = \frac{0.867}{2 \cdot 3.1416} = 0.138 \text{ Гц}.$$

Максимальные моменты и частоты будут равны:

2). Автомобиль длительное время движется при поперечном уклоне дороги. Найдем максимальный угол поперечного уклона, который может преодолеть автомобиль:

$$\varphi_{0x2} = \arctg \frac{B_1}{2h_c} = \arctg \frac{1.442}{2 \cdot 0.8} = 0.733 \text{ рад},$$

где h_c – высота центра тяжести автомобиля [3].

Угловая скорость прецессии в этом случае будет равна:

$$w_{x2} = \left| \dot{\varphi}_{x2} \right| = \varphi_{0x2} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T_2} \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T_2} = 0.733 \cdot \frac{2 \cdot 3.1416}{60} \cdot \cos \frac{\pi \cdot t}{30} = 0.154 \cos \frac{\pi \cdot t}{30} \text{ рад/с},$$

а возмущающий момент:

$$L_{x2} = H \cdot w_{x2} = 7.9 \cdot 10^4 \cdot 0.154 \cos \frac{\pi \cdot t}{30} = 1.22 \cdot 10^4 \cos \frac{\pi \cdot t}{30} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальные значения при этом:

$$L_{x2} = 1.22 \cdot 10^4 = 12.2 \text{ кН},$$

$$f_{x2} = \frac{w_{x2}}{2 \cdot \pi} = \frac{0.154}{2 \cdot 3.1416} = 0.0245 \text{ Гц}.$$

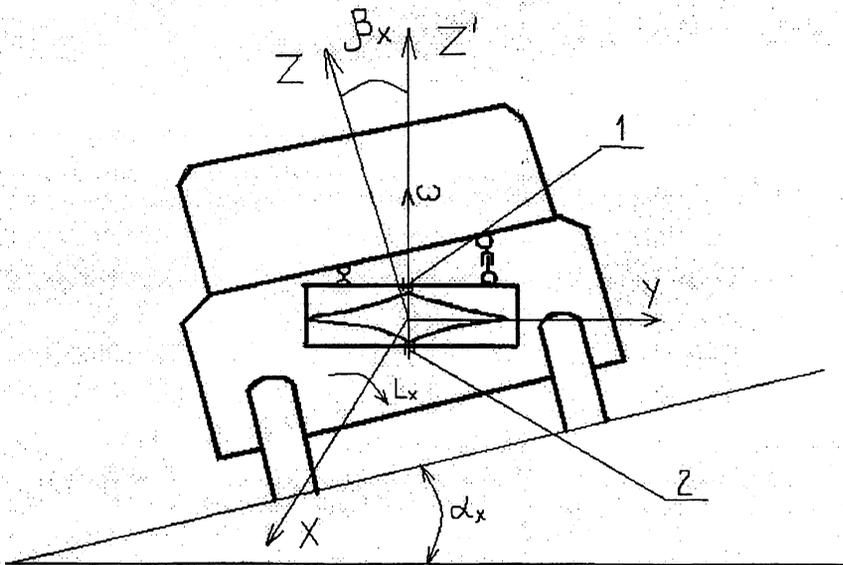


Рисунок 2. Движение автомобиля с маховичным двигателем при поперечном уклоне

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

1) реакция на подшипниках ротора маховика:

$$R_{x1} = \frac{2 \cdot L_{x1}}{b} = 6.85 \cdot 10^4 \frac{1}{0.1} \cos 4\pi t = 6.85 \cdot 10^5 \cos 4\pi t \text{ Н},$$

максимальное значение реакции будет равно $R_{y1} = 685 \text{ кН}$.

2) реакция на подвесе корпуса маховика к раме автомобиля:

$$R_{x2} = \frac{2 \cdot L_{x2}}{B} = 6.85 \cdot 10^4 \frac{1}{0.5} \cos 4\pi t = 13.7 \cdot 10^4 \cos 4\pi t \text{ Н},$$

максимальное значение при этом равно $R_{y2} = 137 \text{ кН}$.

При повороте автомобиля с маховичным двигателем (Рисунок 3) не будут возникать динамические нагрузки, так как вертикальная ось автомобиля остается в неизменном положении, а ось собственного вращения маховика расположена вертикально.

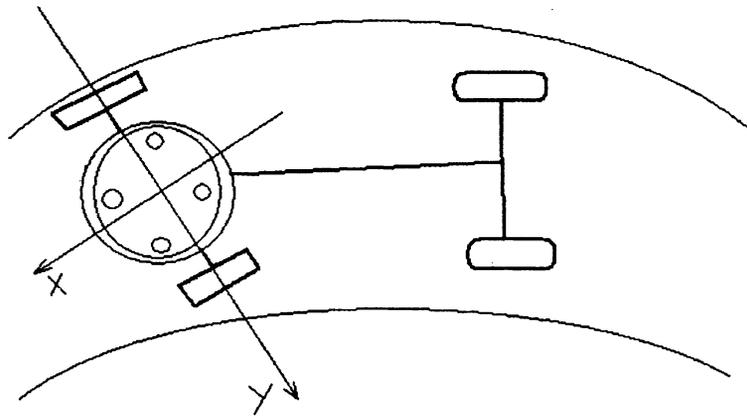


Рисунок 3. Поворот автомобиля с маховичным двигателем

Следует отметить, что все предыдущие рассуждения были проведены из расчета, что корпус маховика жестко прикреплен к раме автомобиля. Для того чтобы уменьшить воздействие прецессионных и нутационных нагрузок на раму автомобиля, предлагается использовать карданный подвес корпуса маховика к раме автомобиля (поз.2 Рисунок 1). Основу подвеса будут составлять четыре пары шарниров неравных угловых скоростей, причем точки подвеса будут располагаться симметрично в ряд по две по продольной и поперечной оси автомобиля. Шарниры будут соединены трубчатыми шлицевыми валами, длина рабочих поверхностей которых будет обеспечивать отклонение корпуса маховика на максимальные углы подъема и поперечного крена автомобиля.

В трансмиссию также будет введен шарнир, который соединит выходной вал волновой передачи и входной вал конической передачи.

Получена методика расчета динамических нагрузок в мобильных машинах с маховичным двигателем. Предложена конструкция подвеса корпуса маховика к раме автомобиля. Результаты помогают оценить возникающие нагрузки и приступить к расчету подвеса корпуса маховика и подвески автомобиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.В. Гулиа «Инерционные двигатели для автомобилей», М.: Машиностроение, - 1976г.
2. Дж. Джента «Накопление кинетической энергии: теория и практика современных маховичных систем», М.: Машиностроение, - 1988г.
3. Е.Р. Варченко «Автомобили УАЗ – 451М, УАЗ – 452 и их модификации», М.: Машиностроение, - 1973г.