

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ С МАХОВИЧНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

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

*For researching the movement of flywheel vehicles the physical model is proposed. Physical model as well as real car has a flywheel engine which rotates with high speed. In the article the main parameters of such model and flywheel engine are calculated. It is shown that the engine of the model has parameters which can easily be achieved while constructing.*

В последнее время наблюдается повышенный интерес автомобильных компаний всего мира к новым видам автомобильной техники. Этот интерес появился не случайно – он вызван постоянным ростом цен на нефть, а также необходимостью уменьшить вредные выбросы. Немаловажным является и тот фактор, что запасы нефти и газа не безграничны (по прогнозам экспертов, разведанных запасов нефти хватит на ближайшие 30 – 50 лет).

Дефицитность топлива, экологическая опасность, а также шум при работе, низкий к.п.д., потребление кислорода воздуха – все это характеризует автомобили с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) с отрицательной стороны. Особенно их недостатки ярко проявляются в городских условиях. Несомненно, ДВС еще десятилетия послужат людям, будут постоянно совершенствоваться, но уже сейчас пора думать, чем в будущем заменить его на автомобиле, чтобы не ощущать недостаток в этом мощном, компактном и практичном силовом агрегате.

Уже созданы альтернативные виды автомобилей, способные в будущем составить конкуренцию ДВС. Подавляющее большинство – это аккумуляторные транспортные средства, использующее в качестве источника энергии сжатый воздух, электрические и конденсаторные батареи, двигатели на водородном топливе и на топливных элементах, а также всевозможные их комбинации – так называемые гибридные силовые агрегаты. Приведенные альтернативные виды транспорта, без сомнения, перспективны, однако не полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к автомобилям будущего и пока не могут составить достойную конкуренцию альтернативным двигателям.

Существует еще один альтернативный вид двигателей для автотранспорта, который незаслуженно был забыт. Это инерционный или маховичный двигатель, который обладает рядом ценных преимуществ. Маховик способен выделять огромную, практически неограниченную удельную мощность, а срок зарядки его может быть как угодно мал; срок консервации энергии в современных маховиках достаточно велик – более месяца; способность к рекуперации энергии позволяет экономично использовать накопленную энергию; такой силовой агрегат чрезвычайно долговечен, совершенно не выделяет никаких побочных продуктов и может стабилизировать кузов автомобиля [1].

Особо актуальны разработки маховичных двигателей для автотранспорта в Республике Беларусь, не имеющей достаточных источников добычи углеводородного сырья (нефти, газа), но имеющей еще недостаточно используемые источники органических материалов (древесного угля, щепы, соломы, растительного сырья, энергии ветра, воды и др.). Использование названных отходов и превращение их в электрическую энергию позволяет создать подзарядочные (или “раскруточные”) станции для раскрутки маховиков.

Вопросы, касающиеся устройства инерционного транспорта, разработки принципиальной схемы и определения параметров, динамики и безопасности маховичных автомобилей были рассмотрены в опубликованных ранее работах [2,3]. Для проверки теоретических выкладок, а также для наглядной демонстрации процессов, происходящих при движении маховичного автомобиля необходима физическая модель. Таким образом задачей работы является определение параметров маховика физической модели мобильной машины.

Физическая модель представляет собой радиоуправляемую модель автомобиля (рис.1), у которой электрический двигатель заменен на маховик. Для движения модели маховик заряжается, то есть раскручивается до заданной скорости. Модель имеет следующие основные части: корпус 1 автомобиля, маховик 2 в корпусе с эластичными подвесами 3, гибкая связь 6 для изменения направления вращения, редуктор 7, дистанционное сцепление 8, дифференциал 9, дистанционное рулевое управление 4 с питающими аккумуляторами 5.

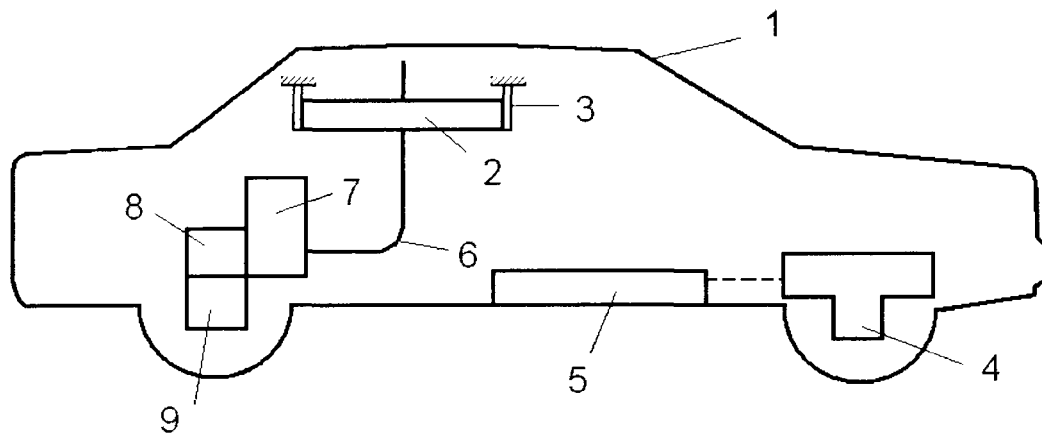


Рис. 1 Общий вид и узлы модели

Кинематическая схема трансмиссии представлена на рис.2. Цифрами обозначены: 1 - маховик, 2 - корпус маховика, 3 - эластичные подвесы корпуса, 4 - вал для раскрутки маховика, 5 - вал маховика, 6 - гибкая передача, 7 - двухступенчатый редуктор, 8 - сцепление, 9 - дифференциал, 10 – колесо

Расчетные параметры модели следующие: масса  $m = 1$  кг, длина  $L = 0,45$  м, ширина  $B = 0,15$  м, высота  $H = 0,13$  м.

Сначала необходимо определить энергию инерционного двигателя на реальном автомобиле. В качестве такового примем автомобиль Audi 80. Для определения запаса энергии определим силы сопротивления, на которые энергия расходуется. Также примем, что автомобиль без подзарядки должен проехать 100 км, сделав при этом 30 остановок и разгонов. При этом принимается, что энергия торможения не рекуперирована, т.е. не возвращается в маховик при торможении, что ставит более жесткие требования по отношению к маховику.

Сила сопротивления дороги по литературе [4]:

$$F_f = G_a \cdot f = 11968 \cdot 0,01 = 119,68 \approx 120 \text{ Н};$$

где  $F_f$  – сила сопротивления качению колес;

$$G_a = m \cdot g = 1220 \cdot 9,81 = 11968 \text{ Н} \text{ – вес автомобиля,}$$

$$f = f_o \cdot [1 + (0,006 \cdot v)^2] = 0,009 \cdot [1 + (0,006 \cdot 60)^2] = 0,01 \text{ – коэффициент сопротивления качению;}$$

где  $f_o = 0,009$  – коэффициент сопротивления качению при движении автомобиля с малой скоростью.

Сила сопротивления воздуха:

$$F_g = k_g \cdot A_g \cdot v^2 = 0,25 \cdot 1,5 \cdot 16,67^2 = 104, \approx 104 \text{ Н};$$

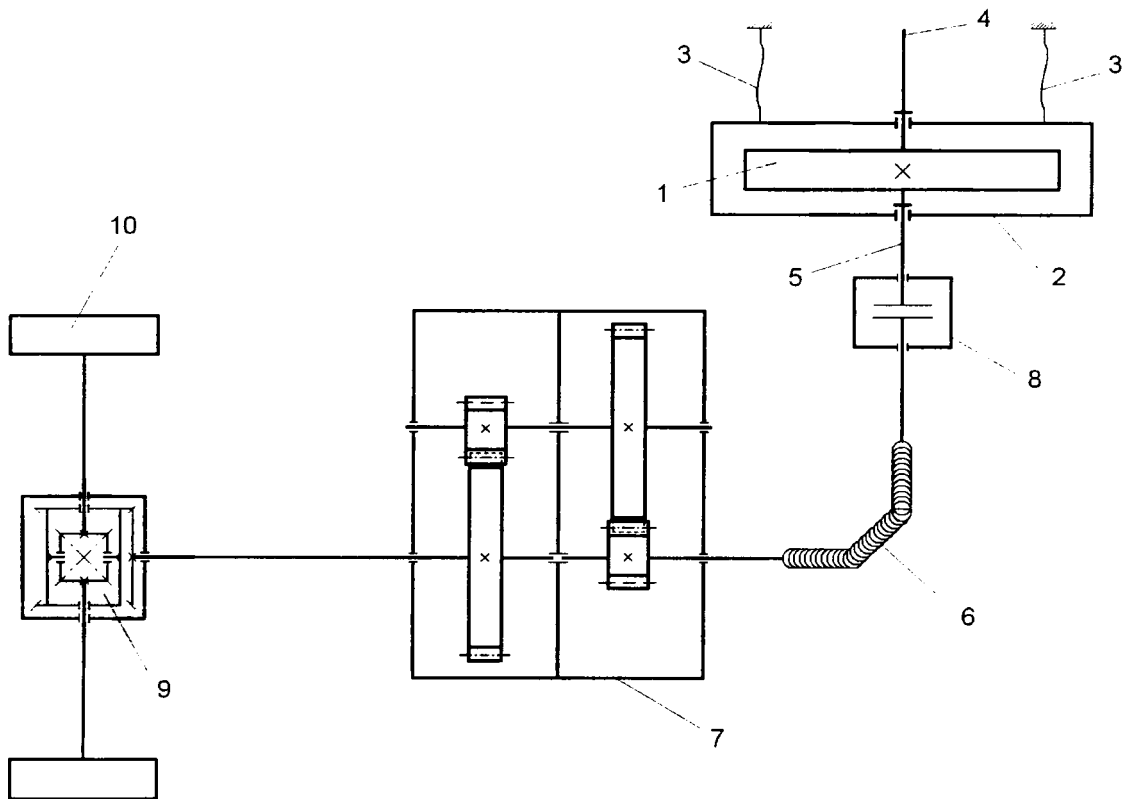


Рис. 2 Кинематическая схема трансмиссии модели

где  $k_g = 0,25 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$  – коэффициент сопротивления воздуха;

$A_g$  – лобовая площадь автомобиля, которая вычисляется по формуле:

$$A_g = C \cdot [(H - h) \cdot B] + n_k \cdot h \cdot B_r = 0,89 \cdot [(1,4 - 0,31) \cdot 1,4] + 2 \cdot 0,31 \cdot 0,2 = 1,5 \text{ м}^2;$$

где  $C=0,89$  – коэффициент формы для легковых автомобилей;

$H=1,4$  м – габаритная высота;

$B=1,6$  м – габаритная ширина;

$L=4,4$  м – длина автомобиля;

$B_r=0,2$  – ширина профиля шины;

$h=0,31$  м – расстояние от бампера до поверхности дороги;

$n_k=2$  – максимальное число колес одного моста автомобиля;

$v=16,67$  м/с – скорость автомобиля при  $v=60$  км/ч.

Энергия, необходимая для движения на расстояние  $L=100$  км с  $n=30$  остановками определяется выражением:

$$T_{ог} = T_{100} + T_{30} = 23 + 5,1 = 28,1 \text{ МДж};$$

где  $T_{100} = (F_f + F_g) \cdot 10^5 = (120 + 105) \cdot 10^5 \approx 23 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 23 \text{ МДж}$  – энергия, необходимая для равномерного движения с крейсерской скоростью на расстояние 100 км;

$$T_{30} = 30 \cdot \frac{m \cdot v^2}{2} = 30 \cdot \frac{1220 \cdot 16,67^2}{2} = 5,1 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 5,1 \text{ МДж} – энергия, необходимая для 30 троганий с места,$$

С учетом потерь в трансмиссии, а также принимая во внимание то, что полезно может использоваться только около 70% энергии маховика [1], получим полную энергию, необходимую для движения:

$$T = \frac{T_{\text{ос}}}{\eta_{\text{тр}} \cdot 0,7} = \frac{28,1}{0,8 \cdot 0,7} \approx 50 \text{ МДж};$$

где  $\eta_{\text{тр}} = 0,8$  – приблизительный КПД трансмиссии.

Таким образом, для движения автомобиля маховик должен запастись  $T=50$  МДж энергии при выбранных начальных условиях.

Пересчитаем полученные данные для физической модели.

Поскольку скорость движения не велика, то сопротивлением воздуха можно пренебречь. Остается сопротивление дороги:

$$F_f^M = G_M \cdot f = 9,8 \cdot 0,009 = 0,088 \text{ Н};$$

где  $F_f^M$  – сила сопротивления качению колес модели;

$$G_a = m \cdot g = 1 \cdot 9,8 = 9,8 \text{ Н} – \text{вес модели.}$$

Для определения расстояния, которое должна преодолевать модель, необходимо ввести поправочный коэффициент, который можно определить из различных условий.

По первому условию отношение путей реального автомобиля и модели должно быть пропорционально их объемам:

$$\frac{L_a}{L_M} = \frac{V_a}{V_M};$$

$$L_M = L_a \frac{V_M}{V_a} = 10^5 \frac{0,45 \cdot 0,15 \cdot 0,13}{4,4 \cdot 1,6 \cdot 1,4} \approx 90 \text{ м.}$$

По другому способу, отношение путей реального автомобиля и модели должно быть пропорционально их массам:

$$\frac{L_a}{L_M} = \frac{m_a}{m_M};$$

$$L_M = L_a \frac{m_M}{m_a} = 10^5 \frac{1}{1220} \approx 82 \text{ м};$$

Примем, что наша модель должна проехать 90 метров с одной раскрутки маховика.

Таким образом, энергия для движения модели равна:

$$T_{\text{ос}}^M = F_f^M \cdot L_M = 0,088 \cdot 90 = 7,92 \text{ Дж.}$$

С учетом потерь в трансмиссии, а также принимая во внимание то, что полезно может использоваться только около 70% энергии маховика, найдем энергию, которую должен запастись маховик:

$$T_M = \frac{T_{\text{ос}}^M}{\eta_{\text{тр}} \cdot 0,7} = \frac{7,92}{0,8 \cdot 0,7} = 14,14 \text{ Дж.}$$

Маховик для модели ввиду небольшого размера и скорости вращения будет сделан в виде стального диска без кожуха. Кинетическая энергия маховика:

$$T_M = 0,5 \cdot I \cdot \omega^2 ;$$

где  $I = 0,5 \cdot m_M \cdot R^2$  -- момент инерции диска;

$$\omega = \frac{n \cdot \pi}{30} \text{ -- угловая скорость диска;}$$

$$m = \rho \cdot V = \frac{\rho \cdot \pi \cdot D^2 \cdot h}{4} = \frac{7800 \cdot 3,14 \cdot 0,1^2 \cdot 0,005}{4} = 0,3 \text{ кг -- масса маховика;}$$

где  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$  для стали,  $D=0,1 \text{ м}$ ,  $h=0,005 \text{ м}$  приняты по конструктивным соображениям.

После подстановки и преобразования, получим:

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{4 \cdot T_M}{m \cdot R^2}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{4 \cdot 14,14}{0,3 \cdot 0,05^2}} = 2630 \text{ об/мин.}$$

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гулиа Н.В. Маховичные двигатели. - М., Машиностроение, 1976. - 176 с.
2. Пирч А.И., Астахов Э.И. Определение динамических параметров мобильной машины с маховичным двигателем// Машиностроение. – 2006. – Вып. 22. Т. 2. – С. 37 – 41.
3. Саболевский А.К., Астахов Э.И. Определение динамических моментов и реакций на корпусе мобильной машины с маховичным двигателем// Машиностроение. – 2006. – Вып. 22. Т.2. – С. 42 – 46.
4. Автомобили: конструкция, конструирование и расчет /под ред. д-ра техн. наук проф. А.И. Гришкевича. - Мн., Вышэйшая школа, 1987. - 200 с.