

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

студ. **Шашко А.Е.**, студ. **Серик А.Л.**, студ. **Хурсевич С.В.**, к. т. н. **Авсиевич А.М.**

Белорусский национальный технический университет, Минск

Рекуперация энергии является эффективным средством повышения экономичности и экологичности мобильных машин. В настоящее время существует несколько вариантов рекуперации. Они подразумевают как накопление кинетической энергии в рекуператоре-маховике, так и преобразование энергии торможения в электроэнергию с последующим ее использованием на работу дополнительного оборудования или обратным преобразованием в механическую [1]. Отдельным направлением является разработка мобильных машин с маховичным двигателем, в которых источник электрической или тепловой энергии отсутствует вообще [2]. Маховичные двигатели, несмотря на давний срок их разработки, так и не нашли своего применения в силу сложностей технологического характера и необходимости специальных стационарных устройств для раскрутки. Мобильные машины с двигателями внутреннего сгорания и электродвигателями на сегодняшний день начинают снабжаться устройствами рекуперации. В электротранспорте широко применяется рекуперативное торможение, при котором электроэнергия, вырабатываемая тяговыми электродвигателями, работающими в генераторном режиме, возвращается в электрическую сеть. В гибридных авто и гоночных автомобилях класса «Формула-1» применяется принцип рекуперации с преобразованием кинетической энергии при торможении в электрическую и обратно. Такое двойное преобразование энергии является недостатком ввиду значительных потерь. В сообществе ученых и инженеров эффективность рекуперации вызывает сомнения в связи с тем, что неизбежное при этом увеличение массы машины приведет к большому расходу энергии, чем будет сохранено. Поэтому целью данной работы ставилось определить критерии эффективности рекуперации кинетической энергии в мобильных машинах.

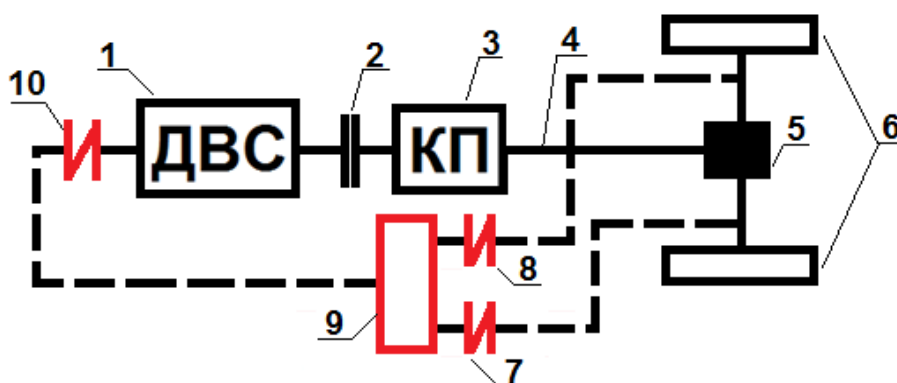


Рисунок 1. – Принципиальная схема мобильного автомобиля с рекуператором

1 – двигатель внутреннего сгорания, 2 – муфта сцепления, 3 – коробка перемены передач, 4 – карданный вал, 5 – главная передача и дифференциал, 6 – ведущие колеса, 7, 8, 10 – редуктор-сцепление, 9 – накопитель энергии

На рисунке 1 изображена схема автомобиля с механической системой рекуперации. Черным цветом со сплошными соединительными линиями показано обычное расположение стандартных агрегатов автомобиля (двигатель внутреннего сгорания, сцепление, коробка перемены передач, карданный вал, главная передача и дифференциал, ведущие колеса). Пунктирными линиями показана кинематическая цепь системы рекуперации.

Накопление энергии рекуператором 9 возможно в двух вариантах: от трансмиссии в процессе торможения (через редуктор-сцепление 7) и от двигателя в режиме холостого хода (через редуктор-сцепление 10). Второй вариант реализуем для дизельных двигателей, у которых на холостом ходу существует значительный запас мощности [3]. Через редуктор-сцепление 8 аккумулированная энергия передается от рекуператора на трансмиссию.

Устройства 7,8,10 условно названные нами «редуктор-сцепление» одновременно выполняют обе эти функции. Они должны обладать автоматической системой управления и в зависимости от режима работы машины в текущий момент времени включаться - выключаться, а во включенном состоянии автоматически изменять в широких пределах свое передаточное отношение.

Определим критерии эффективности работы такой системы с точки зрения затрат энергии на движение мобильной машины.

Работу $A_{\text{дв}}$, совершаемую двигателем можно вычислить по формуле:

$$A_{\text{дв}} = \frac{m_{\text{п}} \cdot \Delta V^2}{2} + A_{\text{сопр}} + A_{\text{тоорм}}^{\text{х.х.}}, \quad (1)$$

где $m_{\text{п}}$ – приведенная масса автомобиля, ΔV – изменение скорости от 0 до V , $A_{\text{сопр}}$ – работа сил сопротивления движению автомобиля, $A_{\text{тоорм}}^{\text{х.х.}}$ – работа, затрачиваемая на поддержание режима холостого хода и расходуемая в процессе торможения.

При появлении системы рекуперации, появятся дополнительные затраты двигатель будет больше нагружен, и он будет совершать дополнительно работу при разгоне машины

$$A_{\text{дв.доп}} = \frac{I_{\text{рек}}^{\text{п}} \cdot \Delta \omega^2}{2} + A_{\text{сопр.рек}}, \quad (2)$$

где $I_{\text{рек}}^{\text{п}}$ – приведенный момент инерции звеньев кинематической цепи рекуператора, $\Delta \omega$ изменение угловой скорости от 0 до ω , $A_{\text{сопр.рек}}$ – работа сил сопротивления движению звеньев цепи рекуператора.

С другой стороны при наличии системы рекуперации на преодоление работы сил сопротивления расходуется часть сохраненной кинетической энергии

$$A_{\text{рек}} = \left(\frac{m_{\text{п}} \cdot \Delta V_{\text{тоорм}}^2}{2} \eta_7 + A^{\text{х.х.}} \eta_{10} \right) \eta_8, \quad (3)$$

где η_7 , η_{10} , η_8 – коэффициенты полезного действия кинематических цепей с редукторами-сцеплениями 7, 10 и 8 соответственно, $\Delta V_{\text{тоорм}}$ – изменение скорости при торможении, $A^{\text{х.х.}}$ – работа двигателя на холостом ходу.

Таким образом, если $A_{\text{рек}} > A_{\text{сопр.рек}}$, то систему рекуперации энергии можно считать эффективной.

Примером автоматического управления системы рекуперации может быть установка акселерометра. Во время спуска с возвышенности, автомобиль получает прирост кинетической энергии за счет своей силы тяжести. И чтобы эта энергия не терялась, в блок управления можно будет установить акселерометр, который будет следить за отклонениями угла от установленной нормы и подключать редуктор 7 для раскрутки маховика 9. Так будет аккумулироваться кинетическая энергия, и этот процесс может заменить торможение автомобиля водителем во время спуска. Во время подъема на возвышенность редуктор 7 можно отключить и включить редуктор 10, который от маховика будет передавать крутящий момент на двигатель, для того чтобы помочь преодолеть силу тяжести автомобиля, и отключаться, когда вращающий момент маховика будет меньше либо равен определенному критическому значению. Остается только определить эффективный угол α наклона автомобиля на спуске, при котором стоит включать рекуператор, согласно схеме на рис. 2, на которой h – высота спуска, l – длина спуска.

Определим угол α из условия возрастания кинетической энергии машины

$$\Delta T = mgh - A_{\text{ТС}}, \quad (4)$$

где ΔT – изменение кинетической энергии, mgh – потенциальная энергия (m – масса автомобиля, g – ускорение свободного падения), $A_{\text{ТС}}$ – работа сил сопротивления.

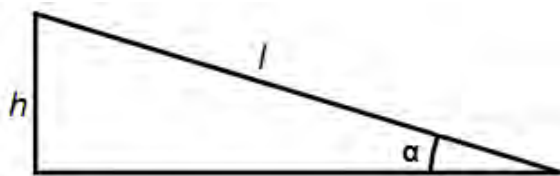


Рисунок 2. – Схема к определению угла движения на спуске для включения рекуперации

Для того, чтобы система была работоспособной, требуется выполнение условия

$$mgh > A_{\text{ТС}}, \quad (5)$$

Работа сил сопротивления складывается из работы сопротивления, зависящей от массы машины работы и аэродинамического сопротивления

$$A_{TC} = mglf + A_{\text{сопр}}, \quad (6)$$

где f – коэффициент сопротивления, аналогичный коэффициенту трения, $mglf$ – работа силы трения на пути l , $A_{\text{сопр}}$ – работа сил аэродинамического сопротивления.

В предельном случае потенциальная энергия равна работе сил сопротивления:

$$mgh = mglf + A_{AC}. \quad (7)$$

Разделив все на длину спуска l получим

$$\frac{h}{l} = f + k_{AC}, \quad (8)$$

где, k_{ac} – коэффициент аэродинамического сопротивления.

Учитывая схему на рис. 2 и коэффициент полезного действия системы рекуперации η , получаем, угол, при котором следует включать систему рекуперации

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{f + k_{AC}}{\eta}\right). \quad (9)$$

РЕЗЮМЕ

Вывод об эффективности системы рекуперации может быть сделан только при рассмотрении конкретных условий работы машины, включающем анализ перепадов высот на пути движения. Вероятно, в мобильных машинах такая система будет эффективна только при оснащении их дизельными двигателями. Вторым условием эффективной рекуперации является разработка конструкции передаточных механизмов между двигателем, рекуператором и ведущей осью, обеспечивающих высокий коэффициент полезного действия, и оснащенных автоматической системой управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гулия Н.В. Накопители энергии. М.: Наука. 1980. 151 с. Патент RU 2117836 C1, 6 F16H 33/02. В.С.Семенов.
2. Гулия Н. В., Инерционные аккумуляторы энергии. Изд-во ВГУ, Воронеж, 1973.
3. Драгунов, Г.Д. Анализ экспериментальных характеристик дизеля на режимах холостого хода и малых нагрузках / Г.Д. Драгунов, А.Н. Медведев // XXVI Российская школа по проблемам науки и технологий. Краткие сообщения: сб. науч. тр. – Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2006. – С. 145–151.

SUMMARY

The conclusion about the effectiveness of the recovery can only be made by considering the specific conditions of the machine, which includes analysis of the height differences in the way of movement. Probably in mobile machines, such a system would be effective only when equipping their diesel engines. The second condition is the development of efficient recovery of the construction of transmission mechanisms between the engine, the heat exchanger and the drive axle, providing high efficiency, and equipped with an automatic control system.

Поступила в редакцию 05.11.2013