

Б.Е. Журиленко, к.ф.-м.н.
(Национальный авиационный университет, Украина)

Возможность сохранения электроэнергии на выбранной тяговой силе при использовании электродвигателей на транспорте

В результате выполненной работы показана возможность экономии электроэнергии автономных источников питания на выбранной тяговой силе при использовании электродвигателей на транспорте. Показано, что происходит уменьшение потребления электроэнергии, если радиус ротора электродвигателя превышает радиус движителя.

В настоящее время развитие транспортных систем идет в направлении использования электрических машин. Использование электрических машин улучшает экологическую обстановку и способствует экономии нефтяных ресурсов. Широкое развитие по использованию электроэнергии получает легковой автомобильный транспорт в виде гибридных автомобилей и электромобилей. Наблюдается использование электродвигателей и в авиации. В последнее время, особенно сильное развитие получили малые беспилотные летательные аппараты (МБПЛА), у которых в большей степени в качестве двигателей используют электрические машины с воздушными винтами. Осуществлена попытка создания самолета на электродвигателях с автономными источниками питания и подзаряжающими их фотоэлементами по крыльям и корпусу самолета. Последние испытания показали, что для такой конструкции самолет совершил достаточно длительный перелет.

Дальнейшее развитие транспорта с использованием электроэнергии упирается в наличие автономных энергоемких источников питания с быстрой подзарядкой. Но даже наличие энергоемких источников питания не исключает рассмотрения вопросов экономичного использования электроэнергии при эксплуатации электрических транспортных систем.

В связи с этим в данной работе рассматривается возможность экономии электроэнергии автономных источников питания в различных конструкциях электрического двигателя.

При движении автомобиля тяговая сила на ведущих колесах в каждый данный момент равна сумме внешних сил сопротивления, то есть силе сопротивления качению, силе сопротивления воздуха, силе сопротивления подъему и силе сопротивления разгону. Если это равенство записать в виде формулы, то получим тяговый баланс автомобиля. Изменение тяговой силы, подводимой к ведущим колесам, зависит от скорости движения автомобиля и передачи в коробке передач. Максимальная тяговая сила достигается на первой передаче. На каждой из передач тяговая сила имеет максимальное значение при определенной скорости, снижаясь далее с повышением скорости движения. Такой характер изменения тяговой силы определяется характером изменения крутящего момента M_e двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в зависимости от скорости вращения коленчатого вала.

Учет всех сил, действующих на автомобиль, позволяет заранее рассчитать эксплуатационные качества автомобиля. Для двигателей внутреннего сгорания это же можно сделать, рассматривая не силу, а мощность двигателя. Движение автомобиля происходит за счет мощности, получаемой от двигателя. Мощность двигателей внутреннего сгорания изменяется в зависимости от количества топлива, подаваемого в камеру сгорания, и, как следствия, скорости вращения коленчатого вала. В данном случае от скорости изменяется и крутящий момент. Поскольку автомобиль — это комплексный механизм, на крутящий момент двигателя влияет ряд характеристик других узлов и агрегатов. Ведущие колеса автомобиля будут получать максимальное тяговое усилие лишь в тот момент, когда взаимодействие механизмов является оптимальным. Пик крутящего момента достигается на таких оборотах двигателя, когда наполнение камеры сгорания рабочей смесью, сжигание продуктов горения и вывод отработавших газов осуществляется с минимальными механическими потерями. Для каждого двигателя этот параметр колеблется в зависимости от конструктивных особенностей и типа используемого топлива. Так же известно, что тяговое усилие на колесах не прямо пропорционально количеству оборотов либо мощности. Двигатель достигает пика крутящего момента и пика мощности на разных оборотах.

Использование электродвигателя в автомобильном транспорте позволяет получить максимальный крутящий момент при нулевых оборотах ротора — сразу при включении двигателя. Значит, уже на месте при включении электромоторов можно получить максимальный крутящий момент на колесах. У поршневых моторов максимальный крутящий момент достигается при 3500—4000 об/мин, поэтому им, чтобы получить необходимую тяговую силу, нужна 5—7 ступенчатая коробка передач.

Существует [1,2] три основные схемы устройства автомобильных гибридных силовых установок: последовательная, параллельная и смешанная. Последовательная гибридная схема появилась первой в 1899 году, но в легковых автомобилях распространена меньше. В последовательной схеме колёса приводит в движение электромотор, а малолитражный ДВС крутит генератор, вырабатывающий электроэнергию. Тут отсутствует необходимость в коробке передач и мощном двигателе внутреннего сгорания. Зато требуются аккумуляторы большой ёмкости.

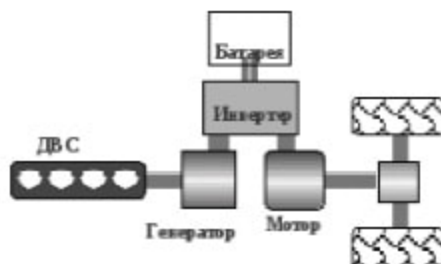


Рис.1 Последовательная гибридная схема

Рассмотрим экономию электроэнергии именно в такой гибридной схеме, поскольку она наиболее просто и дешево может быть реализована на практике в производстве. Кроме того, по похожей и упрощенной схеме собраны самолет и МБПЛА.

Пусть мощность электрического двигателя будет P . Тогда, при постоянной угловой скорости ω , двигатель будет развивать момент $M=P/\omega$. Считаем, что связь колес автомобиля с валом двигателя прямая без передач. Тяговая сила в месте контакта колес с дорогой будет

$$M = r_p \cdot F_p = r_k \cdot F_{\text{тяги}}; \text{ или } F_{\text{тяги}} = \frac{r_p}{r_k} \cdot F_p. \quad (1)$$

где r_p – радиус ротора, F_p – электромагнитная сила, действующая на обмотку ротора, r_k – радиус колеса до контакта с дорогой, $F_{\text{тяги}}$ – тяговая сила. Из выражения (1) видно, что при одной и той же угловой скорости вращения ротора и потребляемой мощности, тяговая сила зависит от отношения радиусов ротора к колесу. Следовательно, при отсутствии передач тяговая сила может быть увеличена в $\frac{r_p}{r_k}$ раз без увеличения мощности двигателя, если $r_p > r_k$. При радиусе $r_p < r_k$ необходимо увеличивать вращающий момент, чтобы обеспечить необходимую силу тяги. Вращающий момент $r_p \cdot F_p$ можно увеличить, если увеличить силу тока в цепи ротора. Для двигателя с разными радиусами роторов можно записать

$$M_1 = r_{p1} \cdot F_p = c \cdot \Phi \cdot I_1, \quad M_2 = r_{p2} \cdot F_p = c \cdot \Phi \cdot I_2. \quad (2)$$

Если двигатели конструктивно выполнены одинаково $c \cdot \Phi = const$, то можно определить уменьшение электрического тока с автономного источника питания при одинаковой электромагнитной и тяговой силе. Выражения (2) поделим одно на другое, получим

$$\frac{r_{p1}}{r_{p2}} = \frac{I_1}{I_2}, \quad \text{отсюда } I_2 = \frac{r_{p2}}{r_{p1}} \cdot I_1. \quad (3)$$

Из выражения (3) можно сделать следующее заключение, если радиус ротора электродвигателя $r_{p1} > r_{p2}$, то время работы такого электродвигателя от автономного аккумуляторного источника питания будет в $\frac{r_{p1}}{r_{p2}}$ раза дольше, чем от электродвигателя с радиусом r_{p2} .

Аналогичные выводы можно сделать и для воздушных винтов самолета [3] и МБПЛА.

Из рис.2а видно, что результирующая аэродинамическая сила R приложена внутри воздушного винта. Если ротор выполнить в виде кольца, соединяющего верхние концы воздушного винта, то есть чтобы ротор располагался по пунктирной линии (рис.2а), то для самолета с электродвигателем или МБПЛА появляется возможность экономии энергоресурса автономного источника питания при выбранной силе тяги. Катушки статора электродвигателя можно расположить в профилированном корпусе (рис.2б), причем, изготавливая два статора, можно сделать двухрядный закопотированный вентилятор противоположного вращения не требующий редукторов. Скорость вращения лопастей двухрядного вентилятора может регулироваться специальными инверторными преобразователями от автономного источника питания.

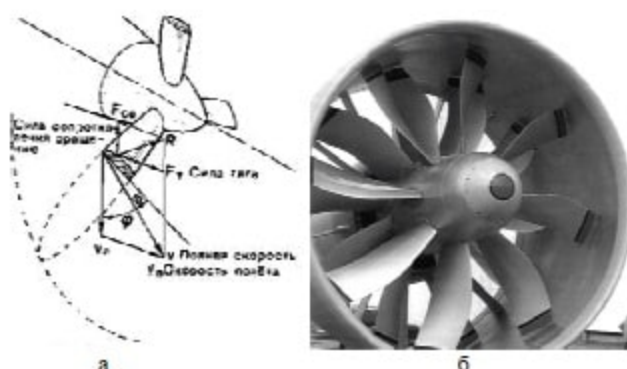


Рис.2. а - Схема аэродинамических сил, действующих на лопасть винта в полете, б - Двигатель НК-93

Выводы. В результате выполненной работы показана возможность экономии электроэнергии на выбранной тяговой силе при использовании электродвигателей на транспорте. Показано, что происходит уменьшение потребления электроэнергии, если радиус ротора электродвигателя превышает радиус двигателя. Причем, при использовании аккумуляторных батарей длительность работы источников питания увеличится пропорционально отношению их радиусов ротора к двигателю.

Результаты данной работы в большей степени актуальны для самолетных электродвигателей и МБПЛА, чем для гибридного автомобильного транспорта, потому что на практике реализация большого радиуса ротора электродвигателя самолета или МБПЛА к радиусу тяговой силы вентилятора будет намного проще. В этом случае в профильном корпусе устанавливается статор электродвигателя, а вентилятор изготавливается в виде ротора (рис.26).

Список литературы

1. Токмакова Н.М. Гибридный автомобиль [Электронный ресурс]. – 2011 – Режим доступа к ресурсу: http://e.cargarages.ru/index.php?sa=X&topic=186.0&ved=0CCMQ9QEoADAMOGRqFQoTCPrv77b3_MYCFUG-FAodZLQKHQ
2. Захаренко А.Б. Оптимизация проектирования тихоходного вентиляционного двигателя с двумя индукторами для привода мотор-колеса/ А.Б.Захаренко, А. Ф. Авдонин // Электротехника. – 1999. – № 12. – с. 6 – 13
3. Надежин Н. Теория воздушного винта: от первых пропеллеров к эффективным агрегатам будущего [Электронный ресурс]. – 2014 – Режим доступа к ресурсу: http://olymp.asclub.ru/publ/arkhiv_rabot/dvenadcataja_olimpiada_2014_15_uch_god/proektirovani_e_i_izgotovlenie_mekhanizma_po_uvelicheniju_koefficienta_poleznogo_dejstvija_vozdushnogo_vinta_aviacionnoj_modeli/34-1-0-1275