

Галиев Р.М.¹, Нигметзянова В.М.²©

¹Канд. техн. наук, доцент, кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта»;

²старший преподаватель, кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта»,
Набережночелнинский институт (филиал) КФУ

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТЫ СОГЛАСУЮЩЕГО РЕДУКТОРА В СОСТАВЕ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ С КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ

Аннотация

В статье рассматриваются основные расчеты согласующего редуктора в составе легкового автомобиля с комбинированной энергетической установкой.

Ключевые слова: гибридный автомобиль, комбинированная энергетическая установка, электромеханическая трансмиссия, топливная экономичность, экологичность.

Keywords: hybrid car, the combined power plant, electromechanical transmission, fuel economy, eco-friendliness.

Введение. Повышающиеся требования к топливной экономичности и экологической безопасности автомобиля заставляют конструкторов искать нетрадиционные решения этой проблемы.

Одним из эффективных направлений в решении указанных проблем является применение электропривода в конструкциях автомобиля. В последние годы четко обозначились два направления развития автомобилей с электромеханическими приводами: первое - создание чистого электромобиля, второе - разработка электромеханического привода с комбинированной (гибридной) энергетической установкой. Из-за отсутствия доступных для массового производства эффективных накопителей электрической энергии чистые электромобили имеют относительно малые пробеги на одной зарядке. Это и является одной из основных причин исследований возможности и эффективности использования в конструкциях автомобилей комбинированных энергетических установок (КЭУ), состоящих из двух двигателей (ДВС и электродвигатель) и накопителя энергии.

Применение в легковом автомобиле двух различных источников энергии создает три новых качества, которые не могут быть получены при использовании только ДВС. Одно из этих качеств заключается в возможности получения максимального крутящего момента за счет ЭМ при динамичном разгоне автомобиля. Второе качество аккумулирования энергии основного источника ДВС в том случае, если развиваемая им мощность больше, чем реализуемая на ведущих колесах, а также тормозной энергии с помощью ЭМ; аккумулированная энергия по необходимости используется в режиме тяги. Третье качество возникает при частичном восстановлении запаса энергии аккумуляторной батареи за счет внешнего источника, что позволяет уменьшить энергию, получаемую от ДВС, следовательно, снизить расход топлива и выброс токсичных веществ в атмосферу.

Максимальная мощность двигателей у некоторых новых моделей легковых автомобилей превышает в настоящее время 100 кВт, тогда как в среднем расходуемая мощность при движении автомобиля в населенном и вне населенном пунктах составляет всего лишь 7,5 кВт. В этом случае, при таких малых нагрузках на двигатель, его КПД мал и составляет примерно 20%. Автомобиль класса *B, C* затрачивает на перемещение из начала в конец маршрута в среднем не более 15 кВт [3]. Следовательно, именно такую мощность и должен бы развивать ДВС.

При торможении теряется от 15 до 60% кинетической энергии, передаваемой автомобилю двигателем [4]. Доля этой потери зависит от вида автомобиля и типа движения

(населенный, вне населенный пункты). Если эту энергию аккумулировать и потом использовать для разгона или в других целях, расход топлива автомобилем снизился бы на 20-30% [4]. Использование КЭСУ дает возможность рекуперации энергии при торможении.

Основная часть. При проектировании гибридного автомобиля более предпочтительна конструктивная параллельная схема КЭСУ, позволяющая наряду с улучшением показателей экологичной безопасности повысить топливную экономичность автомобилей [1,6]. Наиболее распространенная в настоящее время структурная схема автомобиля колесной формулой 4×2 с параллельной компоновкой КЭСУ представлена на рисунке 1. Обозначения на рисунке 1: ДВС – двигатель внутреннего сгорания, СР – согласующий редуктор, ЭМ – электрическая машина, НЭ – накопитель энергии, ПЧ - преобразующая часть, Д – дифференциал. Для согласования частот вращения валов ДВС и ЭМ они соединяются между собой через согласующий редуктор. При этом ЭМ может работать в двух режимах [2].

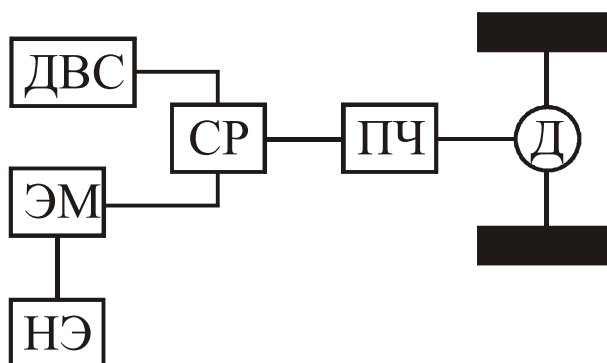


Рис. 1. Структурная схема гибридного автомобиля с параллельным соединением ДВС и ЭМ

В качестве СР могут использоваться различные типы редукторов, например, цепной, шестеренчатый, ременный, планетарный и т.д.

Крутящие моменты от двигателей через планетарный СР могут передаваться суммарно или отдельно по выбору или в зависимости от режимов и условий движения в соответствии с разработанной структурно-кинематической схемой автомобиля (рисунок 2). Обозначения на рисунке 2: МСХ - механизм свободного хода для избежания возможного противовращения коленчатого вала ДВС от крутящего момента ЭМ; МБ - муфта блокировочная для осуществления рекуперации энергии в процессе замедления и торможения, а также при подзарядке НЭ при установившейся скорости движения автомобиля; ПЧ - преобразующая часть, включающая дополнительный редуктор, карданную и главную передачи; Д - дифференциал; $i_{peM} = 1.4$ - передаточное число ременной передачи.

При расчете действующих сил в зацеплениях зубчатых колес планетарной передачи центробежные силы не учитываются. Также предполагается, что силы между сателлитами распределены равномерно. Тогда расчетную схему можно представить в соответствии с рисунком 3. Где солнечное колесо взаимодействует с сателлитом g в точке А, а сателлит с корончатым зубчатым колесом - в точке В. Принимая, что углы зацепления равны, т.е. $\alpha_{w_1} = \alpha_{w_2}$, из уравнения равновесия (равенства проекций на горизонтальную ось) находим, что

сила на водиле: $F_{Hg} = 2F_{ag} K_n \cos \alpha_{w_1} = 2 \frac{M_a}{r_a} K_n^* \cos \alpha_{w_1}$, где K_n - коэффициент

неравномерности нагрузки, r_a - радиус основной окружности солнечного колеса. Крутящий момент, передаваемый на агрегаты трансмиссии автомобиля равен: $M_H = F_{Hg} (r_a + r_g) = -2 \frac{M_a}{r_a}$

$K_H \cdot \cos \alpha_{w_1} (r_a + r_g) = -2 M_a K_H \cos \alpha_{w_1} \left(1 + \frac{Z_H}{Z_a}\right)$, где r_g - радиус основной окружности

зубчатого колеса сателлита.

Тогда для углов зацепления, равных 20° , и коэффициента неравномерности $K_H = 1.2$ имеем [5]: $M_H = 2 * M_a * 1.2 * \cos 20^\circ * \left(1 + \frac{15}{21}\right) = -3.86616 * M_a = 1.59193 M_b$, т.к. $M_a = \frac{M_b}{p} =$

$-0.41176 M_b$, где p - передаточное отношение солнечного колеса к корончатое колесо при неподвижном водиле ($p = -i_{ab}^H$).

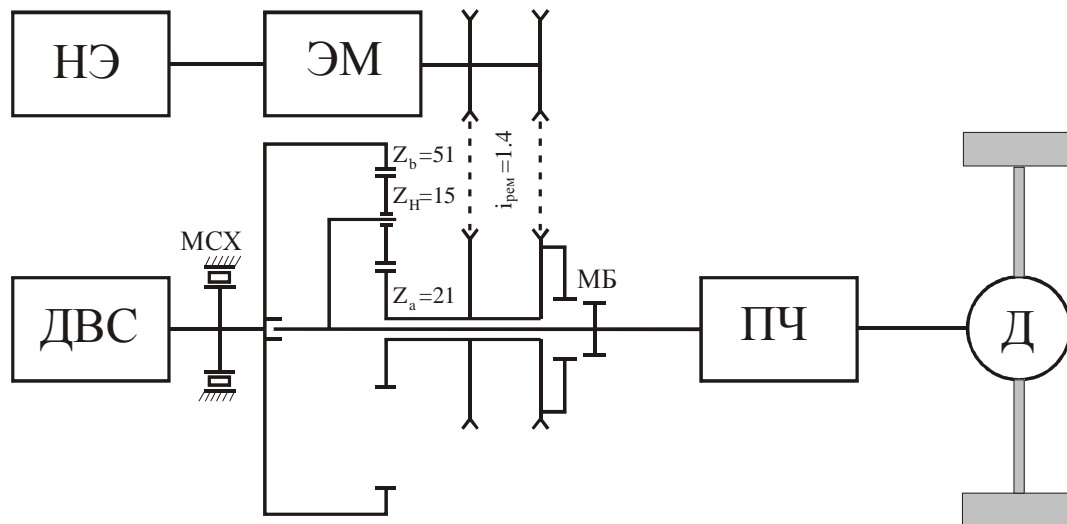


Рис. 2. Структурно-кинематическая схема автомобиля, оборудованного комбинированной энергетической установкой с планетарным согласующим редуктором

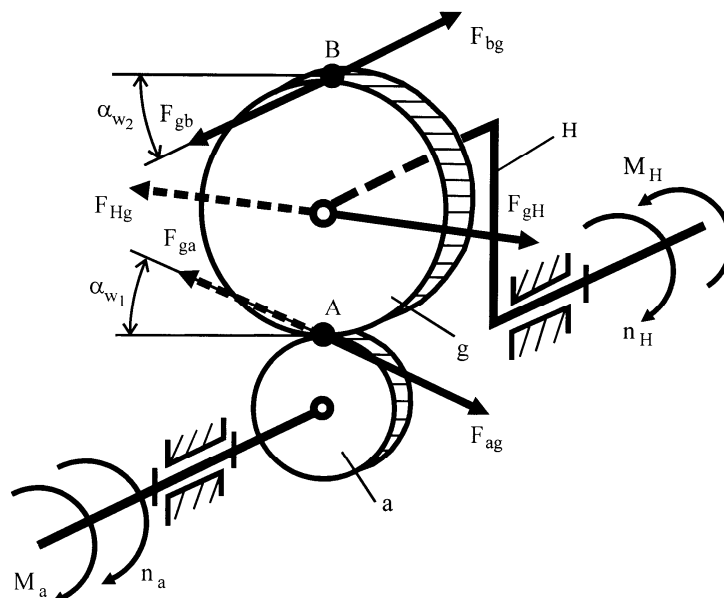


Рис. 3. Схема расчета действующих сил в планетарной передаче

Рассмотрим предельный случай, когда крутящий момент от ЭМ превысит допустимый, приводящий к остановке ДВС и возможному вращению его коленчатого вала в противоположную сторону. Это условие соответствует выполнению неравенства $F_a > 2F_b$, т.е. сила F_a в точке контакта сателлита с корончатым колесом (точка В на рисунке 3) от крутящего момента солнечного колеса M_a будет в два раза больше силы F_b , развиваемой

крутящим моментом ДВС. При этом предполагается, что сила F_a в равных долях передается на ветвь ДВС (корончатое колесо) и в трансмиссию автомобиля (водило). С учетом значений $F_a = \frac{M_a}{r_a}$, $F_b = \frac{M_b}{r_a + 2r_g}$ неравенство примет вид: $\frac{M_a}{r_a} > 2 \frac{M_b}{r_a + 2r_g}$. Или после ряда преобразований: $M_a > 0.82353M_b$. Учитывая равенства $M_a = 1.4M_{ЭМ}$, $M_b = M_{ТД}$, можно сделать вывод, что при совместной передаче крутящего момента через планетарный СР от ЭМ и ДВС в соответствии с выбранной конструктивной схемой (рисунок 2) необходимо обеспечить выполнение условия: $M_{ЭМ} < 0.58824M_{ТД}$. Запишем ограничение в общем виде:

$$M_a < \frac{2M_b}{1 + 2\frac{r_g}{r_a}}$$

Алгоритм управления работой ЭМ и ДВС заложен на электронный блок управления [7].

Заключение. Исходя из эксплуатационных требований (минимальный расход топлива и вред на окружающую среду, хорошие тягово-скоростные свойства автомобиля, возможность автоматизации управления), наиболее предпочтительна структурная схема легкового автомобиля с параллельным соединением ДВС и ЭМ при суммировании их мощностных потоков в согласующем редукторе. Применение в конструкции комбинированной энергосиловой установки дифференциального согласующего редуктора от ДВС и ЭМ позволяет создать бесступенчатую электромеханическую трансмиссию.

Литература

1. Галиев Р.М., Нигметзянова В.М. Разработка легкового автомобиля с комбинированной энергетической установкой//Итоговая научная конференция: сб-к докладов. - Набережные Челны: Издательско-полиграфический центр Набережночелнинского института К(П)ФУ, 2014. - С. 178-182.
2. Иванченко П.Н. и др. Электромеханические передачи/ Под ред. П.Н. Иванченко. - М.: Машгиз, 1962. - 432 с.
3. Ионес С., Виноградов А. Два мотора под одним капотом// За Рулем - 1998. - №5 - С. 62 - 63.
4. Мацкерле Ю. Современный экономичный автомобиль: Пер. с чеш. - М.: Машиностроение, 1987. - 320 с.
5. Решетов Д.Н. Детали машин. - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1989. - 496 с.
6. Умняшкин В.А., Филькин Н.М., Галиев Р.М. Электромеханическая трансмиссия легкового автомобиля// Труды II международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера» (ICATS'2001). - Казань: КГТУ-КАИ, 2001. - С. 433-437.
7. Экологически чистый городской автомобиль с гибридной силовой установкой (комплексный проект): Отчет о научно-исследовательской работе, выполненной в соответствии с научно-технической программой Минобразования РФ «Научные исследования высшей школы в области транспорта». Код НИР: 05.03.01.31 / Ижевский Государственный технический университет; Руководитель работы В.А. Умняшкин. - Ижевск: ИжГТУ, 2000. - 118 с. - Отв. исполн. Б.А. Якимович; Соисполн.: Н.М. Филькин, Р.М. Галиев.