

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В ЗАДАЧАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**Вступление.** Автомобиль, ставший массовым средством транспорта, является одновременно главным источником экологического загрязнения окружающей среды.[1]

Эффективная работа системы управления (СУ) комбинированной силовой энергетической установки (КЭСУ) гибридного автомобиля позволит решить эту проблему. В состав КЭСУ входят ДВС, электродвигатель (ЭД) и накопитель энергии. Таким образом, создание математических моделей компонентов для их дальнейшего использования в синтезе и наладке СУ является ключевым этапом разработки гибридного электрического транспортного средства. Ниже мы рассмотрим математическую модель двигателя внутреннего сгорания, совместную работу ДВС и ЭД.

**Математическая модель ДВС и результаты моделирования.** Модель ДВС можно условно разделить на две большие подсистемы: динамика процессов, происходящих в ДВС и динамика кривошипно-шатунного механизма. Уравнение, описывающее работу кривошипно-шатунного механизма можно записать в следующем виде

$$J \frac{dn}{dt} = T_{eng} - T_{load},$$

где  $J$  – момент инерции ДВС,

$T_{eng}$  – момент, развиваемый ДВС,

$T_{load}$  – момент сопротивления. [2 робаст]

Момент, развиваемый ДВС можно представить в виде эмпирической функции

$$T_{eng} = k_{e0} + k_{e1}m_a + k_{e2}AFR + k_{e3}AFR^2 + k_{e4}\sigma + k_{e5}\sigma^2 + k_{e6}n + k_{e7}n^2 + k_{e8}n\sigma + k_{e9}\sigma m_a + k_{e10}\sigma^2 m_a$$

где  $k_{e0...10}$  – постоянные,

$AFR$  – отношение воздух-топливо,

$\sigma$  – опережение зажигания,

$m_a$  – количество воздуха, поступающее в цилиндры.[2,3]

Уравнения процессов, происходящих в ДВС можно представить в следующем виде

$$m'_{ai} = f(\theta)g(p_m),$$

$m'_{ai}$  – количество воздуха, поступающего во впускную систему,

$f(\theta)$  – функция положения дроссельной заслонки,

$g(p_m)$  – функция давления во впускной системе.[2,3]

Функцию положения дроссельной заслонки можно представить в следующем виде

$$f(\theta) = k_{th0} + k_{th1}\theta + k_{th2}\theta^2 + k_{th3}\theta^3,$$

где  $k_{th0...3}$  – постоянные коэффициенты, определенные во время эксперимента.

Функция давления во впускной системе выглядит следующим образом

$$g(p_m) = \begin{cases} \frac{2}{p_{atm}} \sqrt{\frac{I}{p_{atm} p_m - p_m^2}} & p_m \leq 0,5 p_{atm} \\ p_m & p_m > 0,5 p_{atm} \end{cases},$$

где  $p_{atm}$  – атмосферное давление.

Динамику работы впускной системы можно представить следующим уравнением

$$p_m' = \frac{RT_m}{V_m} (m'_{ai} - m'_{ao}),$$

где  $R$  – это газовая постоянная,

$V_m$  – объем впускной системы,

$T_m$  – температура во впускной системе.

Предполагается, что  $RT_m/V_m$  постоянная величина. Количество воздуха, поступающего в цилиндры – это функция давления во впускной  $p_m$  системе и  $n$  скорости ДВС

$$m'_{ao} = k_{mo0} + k_{mo1}n p_m + k_{mo2}n p_m^2 + k_{mo3}n^2 p_m$$

На рисунке ниже представлены результаты моделирования работы ДВС

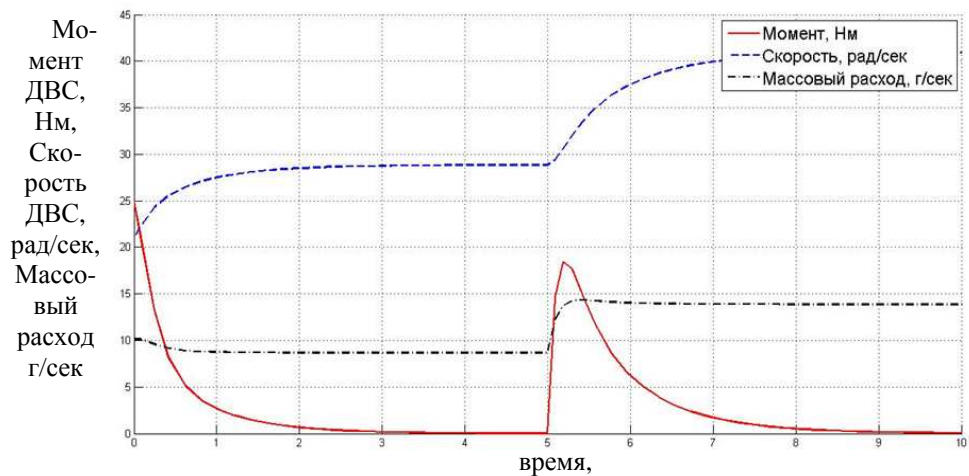


Рис. 1. Результаты моделирования работы ДВС

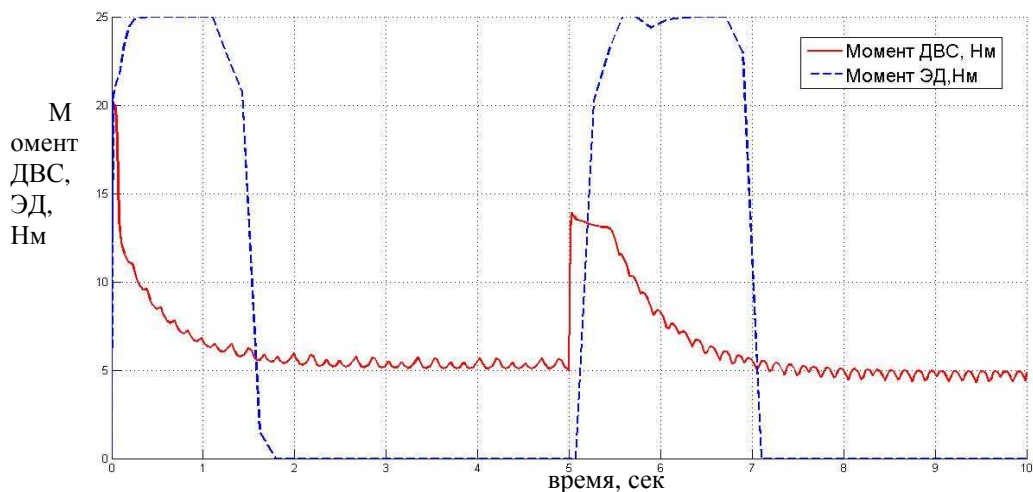


Рис. 2. Совместная работа ДВС и ЭД

При совместной работе двигателей на общий вал скорость ЭД будет равна скорости гибридного транспортного средства. Поэтому результирующая механическая характеристика может быть получена суммированием моментов ЭД и ДВС.

**Выводы.** Механические характеристики приводных двигателей отличаются, в этом случае существует возможность возникновения неравномерного распределения нагрузки между двигателями, которое зависит от жесткости механических характеристик и от соотношения скоростей идеального холостого хода. Из этого следует, что в двигательном режиме электропривода с механической связью приводных двигателей двигатель, скорость идеального холостого хода которого меньше скорости идеального холостого хода результирующей характеристики будет работать в генераторном режиме до тех пор, пока скорость гибридного транспортного средства больше скорости идеального холостого хода одного из приводных двигателей. Поэтому для выравнивания нагрузки между двумя параллельно включенными двигателями, которые работают на общий вал, необходимо обеспечить равенство скоростей идеального холостого хода и жесткостей механических характеристик.

#### Литература

1. Богданов К.Л. Тяговый электропривод автомобиля. – М., 2009. – 56 с.
2. Khan K., Spurgeon S., Puleston P. Robust speed control of an automotive engine using second order sliding modes // Proceedings of the European Control Conference – 2001. - С. 974-978.
3. Triwiyatno A., Nuh M., Santoso A., Sutantra N. Engine Torque Control of Spark Ignition Engine using Fuzzy Gain Scheduling / TELKOMNIKA, Vol.10, No.1 – 2012. – С. 83-90.