

## О ДИНАМИКЕ ДВС

Леонов Г. Н. - д.ф.-м.н., профессор, Фролов А. В. – аспирант, Шустов И. С. - инженер

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
(г. Барнаул)

Эксплуатация автомобилей чаще характеризуется переменными скоростями движения транспортных потоков в городских условиях. Вместе с тем двигатель внутреннего сгорания (ДВС) постоянно находится в скоростном режиме «разгон-торможение». Актуальность исследования состоит в изучении динамики ДВС на нестационарных режимах его работы, а также выяснению условий его динамичности.

Под динамикой понимают раздел механики, изучающий движение материального тела под действием системы неуравновешенных сил [1]. Динамика изучает движение не только одного материального тела, но и конечного множества таких тел, связанных между собой. Исходя из функционального назначения ДВС и определения динамики, сформулируем определение динамики ДВС. Под динамикой ДВС следует понимать характер изменения закона вращения маховика под влиянием энерговыделения с учетом протекания процессов впуска, выпуска, сжатия, а также механического трения. В основу этого определения положено утверждение о том, что динамика энерговыделения определяет динамику двигателя.

«Любой физический процесс протекает в пространстве (и во времени). При описании таких процессов приходится использовать ту или иную систему координат». [2]. Следует отметить, что применение моделирования при изучении динамики ДВС требует от исследователей тщательного и аргументированного выбора такой системы координат. Во-первых, это должно коснуться выбора показателей работы двигателя; во-вторых, выбора независимых переменных, необходимых для описания динамики ДВС. Сформулируем следующие утверждения:

1. Если  $\omega(t) = \text{const}$ , то  $M(t) = 0$ .
2. Если  $\omega(t)$  – возрастающая функция на  $t_1 \leq t \leq t_2$ , то  $M(t) > 0$ .
3. Если  $\omega(t)$  – невозрастающая функция на  $t_1 \leq t \leq t_2$ , то  $M(t) \leq 0$ .

Утверждение 1 справедливо для времени одного такта в предположение, что в диапазоне этого такта закон изменения угловой

скорости вращения маховика постоянен с ненулевым начальным условием  $\omega(t=0) = \omega_0$ . Возможна и экстраполяция данного утверждения на любой ограниченный промежуток времени работы ДВС.

Одним из важнейших динамических показателей работы ДВС является кривая эффективного крутящего момента [3]. Кривая эффективного крутящего момента имеет особое значение при изучении динамики ДВС, а также при глубоком анализе вибраций, шума в двигателях и т.д.

На основании утверждений 1, 2, 3 сформулируем следующее условие:

$$\begin{cases} \omega(t) - \text{возрастающая функция} \\ \omega(t) - \text{невозрастающая функция} \end{cases}$$

Практический интерес представляет случай, когда ДВС «тянет», однако второй случай не менее важен при изучении причин динамической тяги двигателя. Для того чтобы более наглядно проиллюстрировать сказанное, достаточно рассмотреть развитие вопросов, связанных с моделированием динамики ДВС.

Теоретические исследования динамики ДВС осуществлялись с момента появления первых моделей двигателей, аналогичных экспонатам, применяемых в настоящее время. Обычно работы исследователей посвящались описанию конструкции двигателей, а также излагались общие вопросы о показателях качества работы ДВС. К ним следует отнести давление и температуру газов при горении, степень сжатия, расход топлива, частоту вращения, крутящий момент, мощность, К.П.Д. и т.д.

В простейшем случае, когда необходимо исследовать влияние одного или нескольких параметров, а также условий подвода теплоты, режима работы, на К.П.Д., мощность, крутящий момент, исследователи искали эмпирико-теоретические зависимости, количественно раскрывающие суть затронутых ими вопросов практики. Такие зависимости изло-

## О ДИНАМИКЕ ДВС

жены в ряде работ [3 – 6], которые имеют большой научный и практический интерес.

Вместе с тем, актуальными были и остаются вопросы точного прогнозирования показателей работы ДВС. Группой ученых таких, как В.И. Гриневецкий, Н.Р. Бриллинг, Е.К. Мазинг, Б.С. Стечкин и др., был разработан тепловой расчет двигателя. На основе этого расчета были получены зависимости, учитывающие влияние реального состава рабочего тела, политропического характера процессов сжатия, расширения, на индикаторные показатели ДВС. «Расчет строится на численных методах подсчета отдельного процесса. При правильном подборе начальных данных тепловой расчет по Гриневецкому позволяет достаточно точно дать оценку среднего индикаторного давления цикла, индикаторного К.П.Д., определить мощность двигателя при заданной величине его рабочего объема или выбрать рабочий объем при заданной мощности ДВС, построить индикаторную диаграмму цикла и получить, таким образом, данные, необходимые для динамического расчета двигателя...»[7].

Следует отметить, что тепловой метод расчета двигателя является приближенным, позволяет получить необходимые количественные оценки некоторых показателей работы ДВС, однако он не дает качественной картины работы двигателя.

Разработанный Гриневецким и развитый в трудах Н.Р. Бриллинга, Е.К. Мазинга, Б.С. Стечкина тепловой метод расчета, применяется и по настоящее время при исследовании двигателей. Несмотря на ограниченные возможности и ряд недостатков, метод уточняется и принимает более совершенный вид. В целом дальнейшее развитие теплового метода расчета строится по принципу создания „глобальной” модели, которая могла бы наиболее полно и точно учитывать физико-химические процессы, а также устанавливать качественную связь между ними.

Отдельные исследования динамики ДВС построены по принципу кинематического и динамического анализа двигателя. Сначала делается кинематический анализ КШМ при некоторых сделанных допущениях. По мнению авторов [3–5], постоянство угловой скорости вращения маховика и отсутствие зазоров между звеньями КШМ значительно упрощает кинематический анализ КШМ. На основе принятой идеализации, осуществляется описание динамики двигателя через координату  $\varphi$  (угол поворота коленчатого вала).

Действительно, если принять допущение о постоянстве угловой скорости вращения к.в., тогда справедливо утверждение 1. Двигатель характеризуется нулевым эффективным крутящим моментом. Таким образом, можно говорить о динамическом анализе ДВС, который работает в безнагрузочном режиме. Этот случай малоприменим, однако представляет научный интерес.

Учитывая то, что двигатели чаще работают на «разгонных» режимах в условиях переменных нагрузок, наибольший интерес представляет случай, когда закон вращения не постоянен. Сделанное авторами [3 – 5] допущение о постоянстве угловой скорости вращения маховика с точки зрения динамического анализа ДВС не имеет практического применения.

Следуя идеям Г. Вейля [2], в качестве обобщенной координаты выбираем параметр  $t$  (время). Переменная  $t$  используется в роли независимой переменной при описании физико-химических, газодинамических и механических процессов в ДВС.

Обращаясь к определению динамики ДВС, сформулированному в данной работе, предлагаемый метод описания работы ДВС связывает энерговыделение с законом вращения маховика. Говоря об энерговыделении, важно отметить, что для достаточно полного описания закона энерговыделения можно применять кривую выгорания топлива. Следует также подчеркнуть, что при моделировании динамики ДВС важное практическое применение будет иметь кривая давления рабочих газов при горении.

Для теоретических расчетов особое значение имеет аналитическое представление закона изменения давления, характеризующего энерговыделение. Опираясь на теорию горения, можно получить закон выгорания топлива с учетом влияния различных факторов таких, как угол опережения зажигания, химический состав топлива, коэффициент избытка воздуха и т.д. Полученный таким образом закон выгорания топлива может быть сопоставлен с полученными аналитическими зависимостями давления газов во времени и успешно применен в исследовании динамики ДВС.

Прежде чем говорить о связи энерговыделения с динамикой ДВС необходимо указать на кинематический анализ КШМ, который указывает на связь между скоростями и ускорениями разных точек механизма. Так найдена связь между скоростью поршня и скоростью вращения маховика [8]:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{L \frac{dX}{dt}}{\sqrt{(L+R)^2 - 2LX} \cdot \sqrt{R^2 - (-L + \sqrt{(L+R)^2 - 2LX})^2}}$$

(1), где  $L$ ,  $R$  – длины шатуна и радиус кривошипа соответственно,  $X$  – функция перемещения поршня.

Выражения для  $X$  и  $\frac{dX}{dt}$  вытекают из дифференциального уравнения динамики

ДВС:  $PS = m_{\Sigma} \frac{d^2 X}{dt^2}$ , (2), где  $S$  – площадь поперечного сечения поршня,  $m_{\Sigma}$  – масса КШМ, приведенная к поршню,  $P$  – закон изменения давления.

Уравнения (1–2) позволяют сделать предварительный вывод: предлагаемый подход основан на феноменологии протекающих в двигателе процессов, а также позволяет количественно и качественно связать энерговыделение с законом вращения маховика.

Более того возможна постановка более широких исследований следующего характера:

1. влияние химического состава топлив на поведение динамики ДВС;
2. повышение топливной экономичности путем оптимизации процесса энерговыделения;
3. снижение вибраций и шумов в ДВС путем регулирования процесса горения;
4. повышение технических показателей

работы ДВС (мощность, момент, К.П.Д.) за счет улучшения процесса горения и др.

Данный пласт исследований имеет фундаментальное значение для современной науки и автомобильной техники.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лурье, А.И. аналитическая механика. – М.: Наука, 1961. – 824 с.
2. Вейль, Г. Симметрия / Пер. с англ. Б.В. Бирюкова, Ю.А. Данилова – М.: Наука, 1968. – 192 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания / Под ред. В.Н. Луканина – М.: ВШ, 1985. – 311 с.
4. Автомобильные двигатели / Под ред. М. С. Ховаха – М.: Машиностроение, 1977. – 591 с.
5. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. Орлина А. С., Круглова М. Г. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.
6. Петриченко, Р. М. САПР в двигателях внутреннего сгорания. Учеб. пособие. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. 244 с.
7. Лернер, М. О. Регулирование процессов горения в двигателях с искровым зажиганием. М., Наука, 1972, 295 с.
8. Леонов, Г. Н., Фролов А.В. О функциональной связи между давлением в камере сгорания и динамикой ДВС. Электронный интернет-журнал, "Горизонты образования", 2005. – 3 с.