

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗБРОСА КОМПРЕССИИ В ЦИЛИНДРАХ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПРИ ПРОКРУТКЕ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

А.Г. Картуков, к.т.н., В.В. Нечаев, к.т.н., доцент  
ВИ (ИТ) ВА МТО

Предложен метод диагностирования цилиндропоршневой группы двигателя при «холодной» прокрутке коленчатого вала электростартером. Суть метода состоит в определении разности токов, потребляемых стартером при нахождении в верхних мертвых точках поршней разных цилиндров. Приведены математические зависимости, позволяющие определить разброс компрессии в цилиндрах.

### Введение

Процесс диагностирования любой системы сводится к определению диагностических параметров изделия или системы. При их выборе руководствуются рядом принципов. Первый из них — структурные и выходные параметры объекта должны обеспечивать оценку его технического состояния без разборки; второй и третий принципы — однозначность и стабильность диагностического параметра, что означает нахождение его значений в заданном интервале.

### Процесс определения состояния цилиндропоршневой группы двигателя по разбросу компрессии

Используя приведенные принципы и простейшие математические зависимости, можно сформулировать суть и метод определения состояния цилиндропоршневой группы двигателя по разбросу компрессии.

При «холодной» прокрутке коленчатого вала двигателя исходным фактором является то, что ток стартера меняется в соответствии с периодической функцией, причем максимумы тока соответствуют очередным приходам поршней двигателя в верхнюю мертвую точку.

Для исключения пуска бензинового двигателя, при его прокрутке стартером, коммутирующий элемент (переключатель) системы зажигания шунтируется вспомогательным резистором, что уменьшает вторичное напряжение системы зажигания до величины, меньшей пробивного напряжения на свечах зажигания, и исключает пуск ДВС. Для исключения пуска дизельного двигателя необходимо исключить подачу топлива в цилиндры двигателя [1].



Для любого поршневого двигателя внутреннего сгорания пусковой момент сопротивления при пуске состоит из нескольких слагаемых: момента сопротивления трению, момента потерь на компрессию, или момента насосных потерь, и момента, необходимого для привода различных вспомогательных механизмов двигателя.

Момент сопротивления трению в бензиновых двигателях при пусковой частоте вращения и температурах 0–5 °С может достигать 60 % от полного момента сопротивления. Момент сопротивления, затрачиваемый на вращение вспомогательных механизмов двигателя, составляет при температуре 0 °С до 15 % от полного момента сопротивления. Момент потерь на компрессию является второй по величине составляющей и достигает 25 % от полного момента сопротивления [2].

При проворачивании коленчатого вала одноцилиндрового двигателя момент сопротивления от компрессии состоит из переменной и постоянной слагаемой. Наибольшего значения момент достигает вблизи верхней мертвой точки на такте сжатия. Если же цилиндров несколько, то такты сжатия совпадают по времени с тактами расширения в других цилиндрах, вследствие чего амплитуды пульсации снижаются [3].

При «холодном» прокручивании коленчатого вала двигателя момент сопротивления вращению  $M_c$  можно представить как сумму моментов, затраченных на вращение кривошипно-шатунного механизма и привод вспомогательных механизмов  $M_{мех}$ , момента сопротивления трению  $M_{тр}$  и момента сопротивления на сжатие рабочей смеси  $M_{сж}$  [4]:

$$M_c = M_{сж} + M_{мех} + M_{тр}. \quad (1)$$

При нахождении поршня в верхней мертвой точке момент, учитывающий механические затраты энергии на вращение кривошипно-шатунного механизма и привод вспомогательных механизмов, будет величиной постоянной, момент сопротивления трению равен «0», а момент сопротивления на сжатие рабочей смеси достигнет своего максимального значения.

В свою очередь, момент сопротивления на такте сжатия будет зависеть от давления в цилиндрах двигателя, то есть  $M_{сж} = f(p_c)$ . Основываясь на выражении (1), можно сделать заключение о том, что момент сопротивления вращению, при прочих равных условиях, зависит от состояния деталей цилиндропоршневой группы и, как следствие, давления в конце такта сжатия ( $p_c$ ), которое определяется по формуле

$$p_c = p_a \cdot \epsilon^{n_1}, \quad (2)$$

где  $p_a$  — давление начала сжатия;  $\epsilon$  — степень сжатия;  $n_1$  — показатель политропы сжатия.

По своему определению степень сжатия является отношением полного объема цилиндра двигателя  $V_c$  к объему сжатия  $V_{сж}$ . Текущее значение объема и давления сжатия от угла поворота коленчатого вала определяется параметрами кривошипно-шатунного механизма и изменяется, в идеальном случае, в зависимости от положения поршня по закону

$$V_{сж} = R \cdot [1 + \cos\varphi + 0,5 \cdot \lambda \sin^2\varphi] \cdot S, \quad (3)$$

где  $\lambda$  — отношение радиуса кривошипа к длине шатуна;  $R$  — радиус кривошипа;  $S$  — ход поршня.

Таким образом, давление в надпоршневом пространстве в цилиндрах двигателя, момент сопротивления на сжатие рабочей смеси при движении поршня, а следовательно, и полный момент сопротивления, будут изменяться по периодическому закону в функции от угла поворота коленчатого вала.

В случае появления значительного износа деталей цилиндропоршневой группы давление в конце такта сжатия уменьшится на определенную величину, которая пропорциональна протечкам заряда. Основными причинами увеличения негерметичности (неплотности) между поршнем и гильзой цилиндра являются такие повреждения деталей цилиндропоршневой группы двигателя, как износ, поломка, либо залегание поршневых колец, износ или наличие задира на рабочей поверхности цилиндра, разрушение перемычек между канавками поршневых колец, износ или прогорание поршня. Таким образом, разницу давлений в конце такта сжатия можно использовать в качестве диагностического параметра:

$$\Delta p = p_c - p_{изн}, \quad (4)$$

где  $p_{изн}$  — давление с учетом износа или поломки деталей цилиндропоршневой группы.

Используя программу «MathCad», промоделируем  $M_c(\varphi)$  для ряда значений диагностического параметра.

Опираясь на расчеты и приведенные на рис. 1 графики, можно сделать заключение о том, что момент сопротивления изменяется по периодическому закону функции угла поворота коленчатого вала  $\varphi$ , а его максимальные значения существенно зависят от давления в конце такта сжатия, то есть состояния деталей цилиндропоршневой группы.

Так как в стартерах применяются электродвигатели с последовательным возбуждением, которые имеют квадратичную зависимость момента вращения  $M_{ст}$  от тока, а рабочая точка стартера выбирается при значении тока, равного  $2/3$  тока полного торможения, то с изменением момента сопротивления при прокручивании коленчатого вала двигателя стартером по такой же функции будет изменяться и ток, потребляемый стартером  $I_{ст}$ . Максимумы тока будут соответствовать приходу поршней в верхние мертвые точки. При этом напряжение на аккумуляторной батарее  $U_b$  будет изменяться в противофазе току:

$$U_b = E_b - I_{ст} \cdot r_b, \quad (5)$$

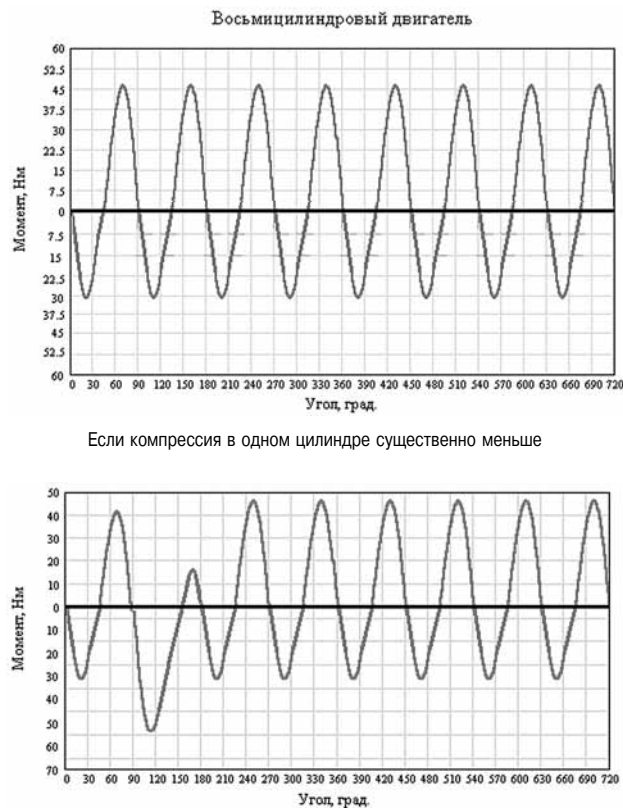


Рис. 1. Результаты моделирования момента сопротивления  $M_c$  программой «MathCad»

где  $E_6$  — ЭДС батареи;  $r_6$  — внутреннее сопротивление батареи.

### Вывод

Используя разницу в максимальных значениях тока, потребляемого стартером при нахождении поршней в верхних мертвых точках, и сравнивая измеренные значения тока или напряжения стартера с эталонными, представляется возможным

дать оперативную оценку состоянию деталей цилиндропоршневой группы двигателя.

Зафиксировав разность токов, потребляемых стартером при нахождении в верхних мертвых точках поршней разных цилиндров, без особых затруднений определяется разброс компрессии по цилиндрам двигателя в случае возникновения повреждения.

### Литература

1. Пат. 119033 Российская Федерация, МПК7 F02B 23/06 Двигатель внутреннего сгорания [Текст] / Шапран В.Н., Картуков А.Г., Березняк А.В. и др.; заявитель и патентообладатель Картуков А.Г. (RU), Березняк А.В. (RU). — № 2012115992/28; заявл. 19.04.2012; опубл. 10.08.2012. — 4с. ил.
2. Основы электрооборудования самолетов и автомашин / А.Н Ларионов / М. : Госэнергоиздат. — 1955. — 384 с.
3. Пат. 160734 Российская Федерация, МПК G 01M

15/05 Анализатор работы систем двигателя внутреннего сгорания [Текст] / Смирнов А.М., Моисеев Р.В., Нечаев В.В.; заявитель и патентообладатель ВА МТО имени г-ла армии Хрулева А.В.. — 2015146376/06; заявл. 27.10.15; опубл. 27.03.2016 г., бюл. № 9. — 14 с: ил.

4. Пат. 2370745 Российская Федерация, МПК G 01M 15/04, F 02M 65/00 Устройство для диагностирования систем дизеля [Текст] / Шапран В.Н., Нечаев В.В. Заявитель и патентообладатель Ряз. воен. автомоб. ин-т. — 2008115352/06; заявл. 18.04.2008; опубл. 20.10.2009, бюл. № 29. — 7 с.: ил.

## Вниманию авторов

Редакция обращает внимание авторов на тематическую направленность принимаемых к рассмотрению рукописей и необходимость выполнения требований по их оформлению.

Журнал «Двигателестроение» является ежеквартальным научно-техническим изданием, посвященным проблемам развития, проектирования, изготовления и эксплуатации поршневых двигателей.

Тематика публикаций определила следующие основные рубрики журнала:

- расчеты, конструирование, исследования двигателей;
- системы и агрегаты двигателей;
- конструкционные материалы;
- топливо и смазочные материалы, присадки;
- ресурсосбережение;
- эксплуатация и ремонт двигателей;
- автоматизация и диагностирование;
- проблемы экологии;
- гипотезы и дискуссии;
- история развития конструкций (проектов), предприятий и науки о двигателях;
- обзорная и справочная информация.

Текст рукописи должен быть представлен в двух экземплярах на бумаге формата А4, гарнитура Times New Roman 12, через полтора интервала, с обязательным приложением электронной версии на CD (в формате Microsoft Word 2000/2003), полностью соответствующей оригиналу на бумаге. Формулы в электронной версии должны быть набраны с использованием редактора формул Microsoft Equation 3.0. За достоверность набора формул несет ответственность автор. При использовании в наборе специальных шрифтов последние прилагаются в электронном виде. Электронные копии иллюстраций представляются отдельными файлами в форматах: TIF, JPG (не менее 300 dpi, черно-белые полутоновые изображения).

Представляя рукопись статьи в редакцию, автор должен сообщить о ее предыдущих публикациях.

Рукопись статьи должна иметь рекомендацию к публикации в журнале (направление) от организации, где выполнялась работа, а также акт экспертной комиссии с указанием того, что рукопись не содержит сведений, запрещенных к публикации в открытой печати.

Заглавие статьи должно быть кратким (не более 120 знаков), точно отражающим ее содержание.

Для оперативного решения вопросов, связанных с подготовкой рукописи к публикации, а также для размещения электронной версии журнала в НЭБ должны быть представлены сведения об авторах:

- фамилия, имя, отчество (полностью);
- ученая степень и звание;
- полное наименование места работы;
- полный почтовый адрес;
- действующие контактные телефоны, e-mail).

Для представления авторов читателям желательно присылать цветные или черно-белые фотографии авторов размером не менее чем 3×4 см. Допускаются электронные копии в форматах TIF или JPG.

Обязательными приложениями к рукописи являются: реферат, в котором четко и сжато изложены основные цели и результаты работы объемом от 700 до 1200 знаков; код УДК; ключевые слова.

Заглавие статьи, название организаций, ФИО авторов, ключевые слова и реферат необходимо присылать на русском и английском языках.

Объем статьи не должен превышать 25 тыс. знаков, включая таблицы и список литературы. Иллюстрации в виде графиков, диаграмм, схем и фотографий оформляются в виде приложений к тексту рукописи. Все приложения к тексту рукописи представляются на отдельных листах, а в электронной копии — в виде отдельных файлов. Формулы, иллюстрации и таблицы должны быть пронумерованы в порядке упоминания и снабжены поясняющими (подрисовочными) подписями. Все обозначения на иллюстрациях должны быть объяснены (расшифрованы) в тексте или в подрисовочных подписях и соответствовать обозначениям в тексте.

Даже если все иллюстрации завершены автором в текст электронной копии рукописи, то их представление в виде отдельных файлов и распечаток на отдельном листе обязательно.

В статьях желательно приводить только те математические формулы, которые необходимы для понимания существа вопроса, исключая их подробные выводы.

Все обозначения, встречающиеся в формулах, должны быть объяснены.

При написании формул необходимо использовать общепринятые обозначения физических величин по Международной системе единиц (ГОСТ 8.417–2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин). Ссылки на цитируемые источники необходимо оформлять в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 05–2008.

Если представленные в редакцию рукописи не удовлетворяют перечисленным требованиям, то они могут быть доработаны по согласованию с автором сотрудниками редакции. Услуги редакции по доработке рукописей статей платные.

Рукописи статей, поступившие в редакцию, рецензируются специалистами. Если у рецензента имеются обоснованные критические замечания, статья возвращается автору на доработку.

Редакция оставляет за собой право внесения в текст редакторских изменений, не искажающих смысла авторского текста. При поступлении в редакцию обоснованных критических замечаний, касающихся размещенного в журнале материала, редакция оставляет за собой право на их публикацию в порядке дискуссии.

Авторское право на конкретную статью принадлежит авторам. Ответственность за содержание статьи несет также автор. При перепечатке статьи или ее части ссылка на журнал обязательна.

Рукописи, направленные в редакцию, авторам не возвращаются.

*Редакция журнала*