

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ДАВЛЕНИЯ ВО ВПУСКНОМ КОЛЛЕКТОРЕ

Контроль начального положения валов привода газораспределительного механизма можно осуществлять, используя в качестве диагностических параметров характеристики колебаний давления воздуха во впускном трубопроводе двигателя. Предложены параметры и уравнения, при помощи которых такой контроль возможен.

Ключевые слова: диагностика, двигатель, газораспределительный механизм, вал привода впускных клапанов, фаза колебания давления, впускной трубопровод.

Одним из наиболее трудоемких процессов, выполняемых при поиске неисправностей в двигателях и их системах, является определение правильности установки начальных положений распределительных валов (НПРВ). Попытки контролировать НПРВ двигателя безразборными методами привели к анализу процесса колебаний давления в его впускном коллекторе.

По данным эксперимента [1–3] получено выражение для расчета фазы первой гармоники колебаний давления во впускном коллекторе двигателя модели 4S-FE (Toyota) в зависимости от НПРВ:

$$\alpha_v^1 = 0,002 \cdot \Delta\Theta_e \cdot \Delta\Theta_i - 0,1977 \cdot \Delta\Theta_e - 0,8388 \cdot \Delta\Theta_i + 68,964, \quad (1)$$

где $\Delta\Theta_i$ – начальное положение вала привода впускных клапанов, $\Delta\Theta_e$ – начальное положение вала привода выпускных клапанов (эти углы измеряются по начальному положению коленчатого вала двигателя и равны нулю при нормальном взаимном положении распределительных валов).

Первое слагаемое в правой части этого уравнения (для НПРВ, при котором двигатель остается работоспособным) не превышает 2° , поэтому им можно пренебречь.

На основании проведенного исследования установлено, что для любого типа четырехтактных автомобильных двигателей с двумя распределительными валами (один вал приводит впускные, другой – выпускные клапаны), которые установлены с начальными углами $\Delta\Theta_i$ и $\Delta\Theta_e$, зависимость $\alpha^1 = f(\Delta\Theta_e, \Delta\Theta_i)$ будет иметь вид:

$$\alpha^1 = a_N^1 + a_i \cdot \Delta\Theta_i + b_e \cdot \Delta\Theta_e, \quad (2)$$

где α_N^1 – значение фазы первой гармоники колебаний давления во впускном коллекторе при

нормальном НПРВ; a_i , b_e – коэффициенты влияния соответствующего РВ на фазу первой гармоники колебаний давления во впускном коллекторе, зависящие от конструктивных особенностей двигателя.

А для любого типа четырехтактных двигателей с единственным распределительным валом, который установлен с начальным углом $\Delta\Theta_{pv}$, зависимость $\alpha^1 = f(\Delta\Theta_{pv})$ будет иметь вид:

$$\alpha^1 = \alpha_N^1 + a_{pv} \cdot \Delta\Theta_{pv}, \quad (3)$$

где a_{pv} – коэффициент, зависящий от конструктивных особенностей двигателя.

Выражения, обратные уравнениям (2) и (3), будут иметь вид:

$$\Delta\Theta_i = f(\alpha^1, \alpha_N^1, a_i, b_e, \Theta_i^T, \Theta_e^T);$$

$$\Delta\Theta_e = f(\alpha^1, \alpha_N^1, a_i, b_e, \Theta_i^T, \Theta_e^T); \quad (4)$$

$$\Delta\Theta_{pv} = f(\alpha^1, \alpha_N^1, a_{pv}, \Theta_{pv}^T), \quad (5)$$

где Θ_{pv}^T , Θ_i^T , Θ_e^T – шаг зуба привода распределительного вала (по коленчатому валу).

Зависимости (4) и (5) позволяют определить НПРВ по измеренному значению параметра α^1 в процессе контроля двигателя.

Для определения коэффициентов в уравнениях (4) и (5) для каждой модели двигателя по результатам измерений параметра α^1 были разработаны соответствующие методики испытаний двигателя.

Уравнения (4) и (5) линейны, и для получения входящих в них коэффициентов достаточно измерить на работающем двигателе значения параметра α^1 при двух начальных положениях каждого распределительного вала (РВ). Первое измерение должно проводиться для нормального НПРВ, второе – при установке рас-

пределительного вала с поворотом на один зуб против хода вращения.

Но уравнений (4) и (5) недостаточно для точного и однозначного определения НПРВ при сочетании растяжения цепи ГРМ с неверной установкой РВ, поэтому необходимо также произвести измерения параметра K_ϕ и сохранить среднюю за период форму колебаний давления во впускном коллекторе.

Методика проведения испытаний для двигателя с одним распределительным валом следующая:

1. Завести двигатель, прогреть до рабочей температуры. Измерить значение параметров α^1 , K_ϕ и записать форму колебаний давления во впускном коллекторе при установившейся минимальной частоте вращения коленчатого вала на холостом ходу. Заглушить двигатель;

2. Установить распределительный вал с поворотом на один зуб против хода вращения. Определить угол поворота. Выполнить пункт 1 данной методики;

3. Установить распределительный вал в нормальное положение.

Для двигателей с двумя распределительными валами привода впускных и выпускных клапанов предлагается следующая методика испытаний:

1. Завести двигатель, прогреть до рабочей температуры. Измерить значения параметров α^1 , K_ϕ и записать форму колебаний давления при установившейся минимальной частоте вращения коленчатого вала в режиме малых оборотов холостого хода. Заглушить двигатель.

2. Установить вал привода выпускных клапанов с поворотом на один зуб привода против хода вращения. Определить угол поворота. Выполнить пункт 1 данной методики.

3. Установить вал привода *выпускных* клапанов в нормальное положение.

Установить вал привода *впускных* клапанов с поворотом на один зуб привода против хода вращения. Определить угол поворота. Выполнить пункт 1 данной методики.

4. Установить вал привода впускных клапанов в нормальное положение.

Затем, в зависимости от конструкции ГРМ двигателя, определяют коэффициенты уравнений (4) или (5).

Коэффициент α_N^1 – это измеренное значение параметра α^1 фазы первой гармоники ко-

лебания давления во впускном коллекторе при нормальном положении распределительных валов.

Пример: Для двигателя 4S-FE значение коэффициента $\alpha_N^1 = 68,3^\circ$.

Определить шаг зуба привода РВ (по коленчатому валу) можно, зная общее количество зубьев на его зубчатом колесе, звездочке или шестерне и используя выражение:

$$\Theta^T = \frac{180^\circ}{N^T}. \quad (6)$$

Пример: У двигателя 4S-FE на зубчатом колесе вала привода впускных клапанов 48 зубьев, а на шестерне вала привода выпускных клапанов 40 зубьев. Тогда шаг зуба (по коленчатому валу) для вала привода впускных клапанов составит $\Theta_i^T = \frac{180^\circ}{48} = 15^\circ$, шаг зуба для вала привода

выпускных клапанов $\Theta_e^T = \frac{180^\circ}{40} = 18^\circ$.

Работоспособность двигателей сохраняется в следующей области определения НПРВ:

$$\begin{aligned} \Delta\Theta_i &\in [-2 \cdot \Theta_i^T, -\Theta_i^T, 0, +\Theta_i^T, +2 \cdot \Theta_i^T], \\ \Delta\Theta_e &\in [-2 \cdot \Theta_e^T, -\Theta_e^T, 0, +\Theta_e^T, +2 \cdot \Theta_e^T]. \end{aligned} \quad (7)$$

Пример: Двигатель 4S-FE работоспособен при следующих НПРВ:

$$\Delta\Theta_i \in [-30^\circ, -15^\circ, 0^\circ, +15^\circ, +30^\circ],$$

$$\Delta\Theta_e \in [-36^\circ, -18^\circ, 0^\circ, +18^\circ, +36^\circ].$$

Коэффициент b_e определяет влияние начального положения вала привода выпускных клапанов на параметр α^1 . Определим его значение из выражения:

$$b_e = \frac{\alpha_e^1(\Delta\Theta_e) - \alpha_N^1}{\Delta\Theta_e}, \text{ при } \Delta\Theta_i = 0, \quad (8)$$

где в качестве $\alpha_e^1(\Delta\Theta_e)$ следует подставлять значения параметра α^1 , которое было измерено при установке вала привода выпускных клапанов с поворотом против хода вращения на один зуб привода ($\Delta\Theta_e = -\Theta_e^T$).

Пример: Для двигателя 4S-FE измеренное значение параметра α^1 при соответствующей установке вала привода выпускных клапанов составляет $71,9^\circ$, значение коэффициента $\alpha_N^1 = 68,3^\circ$, параметр $\Delta\Theta_e = -18^\circ$, тогда:

$$b_e = \frac{71,9^\circ - 68,3^\circ}{-18^\circ} = -0,2.$$

Коэффициент α^1 определяет влияние начального положения вала привода впускных клапанов на параметр α^1 . Определим его значение из выражения:

$$a_i = \frac{\alpha_i^1(\Delta\Theta_e) - \alpha_N^1}{\Delta\Theta_i}, \text{ при } \Delta\Theta_e = 0, \quad (9)$$

где в качестве $a_i^1(\Delta\Theta_e)$ следует подставлять значение параметра α^1 , которое было измерено при установке вала привода впускных клапанов с поворотом на один зуб привода против хода вращения ($\Delta\Theta_i = -\Theta_i^T$).

Пример: Для двигателя 4S-FE в силу конструктивных особенностей при соответствующей установке вала привода впускных клапанов вал привода выпускных клапанов тоже поворачивается на -15° , значит, полученное значение α^1 ($84,4^\circ$) надо уменьшить на величину $\Delta\Theta_e \cdot b_e = (-15^\circ) \cdot (-0,2) = 3^\circ$, чтобы компенсировать влияние вала привода выпускных клапанов, тогда:

$$a_i = \frac{(84,4^\circ - 3^\circ) - 68,3^\circ}{-15^\circ} \approx -0,87.$$

Для двигателя с единственным распределительным валом коэффициент $\alpha_{pв}$ определяется из выражения:

$$a_{pв} = \frac{\alpha_{pв}^1(\Delta\Theta_{pв}) - \alpha_N^1}{\Delta\Theta_{pв}}, \quad (10)$$

где в качестве $a_{pв}^1(\Delta\Theta_e)$ следует подставлять значение параметра α^1 , которое было измерено при установке распределительного вала с поворотом против хода вращения на один зуб привода.

Пример: Если условно считать двигатель одновальным, то при установке колеса привода РВ с поворотом на один зуб против хода его вращения значение параметра α^1 будет $84,4^\circ$, тогда:

$$a_{pв} = \frac{84,4^\circ - 68,3^\circ}{-15^\circ} \approx -1,07.$$

Определим $K_\phi^П$ – критическое или пороговое значение коэффициента K_ϕ . Для этого выбираем наибольшее значение K_ϕ из измеренных при аномальном НПРВ. Определим $K_\phi^П$ как среднее для значений, полученных при нормальном НПРВ, и максимальное при аномальных положениях распределительных валов.

Пример: для двигателя 4S-FE значение K_ϕ при нормальном положении распределительных валов составляет 44. При установке вала привода выпускных клапанов с поворотом против хода вращения на 1 зуб приводной шестерни значение K_ϕ будет 38,2 поэтому:

$$K_\phi^П = \frac{44 + 38,2}{2} = 41,1.$$

Диагностическое уравнение для двигателя с одним распределительным валом запишется в виде:

$$\Delta\Theta_{pв} = \frac{(\alpha^1 - \alpha_N^1)}{a_{pв}}. \quad (11)$$

Уравнение (11) имеет единственное решение при любых значениях параметра α^1 .

Чтобы получить диагностические уравнения для двигателя с двумя распределительными валами, запишем уравнение (2) для пяти дискретных значений $\Delta\Theta_i$, возможных при эксплуатации, в виде:

$$\begin{cases} \alpha^1 - \alpha_N^1 = b_e \cdot \Delta\Theta_e - a_i \cdot 2 \cdot \Theta_i^T, & \text{при } \Delta\Theta_i = -2 \cdot \Theta_i^T \\ \alpha^1 - \alpha_N^1 = b_e \cdot \Delta\Theta_e - a_i \cdot \Theta_i^T, & \text{при } \Delta\Theta_i = -\Theta_i^T \\ \alpha^1 - \alpha_N^1 = b_e \cdot \Delta\Theta_e, & \text{при } \Delta\Theta_i = 0 \\ \alpha^1 - \alpha_N^1 = b_e \cdot \Delta\Theta_e + a_i \cdot \Theta_i^T, & \text{при } \Delta\Theta_i = +\Theta_i^T \\ \alpha^1 - \alpha_N^1 = b_e \cdot \Delta\Theta_e + a_i \cdot 2 \cdot \Theta_i^T & \text{при } \Delta\Theta_i = +2 \cdot \Theta_i^T \end{cases} \quad (12)$$

Выразим $\Delta\Theta_e$ и получим искомые диагностические уравнения в виде:

$$\begin{cases} \Delta\Theta_e = \frac{\alpha^1 - \alpha_N^1 + a_i \cdot 2\Theta_i^T}{b_e}, \Delta\Theta_i = -2\Theta_i^T, \text{ при } \alpha^1 - \alpha_N^1 < -\frac{3\Theta_i^T a_i}{2} \\ \Delta\Theta_e = \frac{\alpha^1 - \alpha_N^1 + a_i \cdot 2\Theta_i^T}{b_e}, \Delta\Theta_i = -\Theta_i^T, \text{ при } -\frac{3\Theta_i^T a_i}{2} < \alpha^1 - \alpha_N^1 < -\frac{\Theta_i^T a_i}{2} \\ \Delta\Theta_e = \frac{\alpha^1 - \alpha_N^1}{b_e}, \Delta\Theta_i = 0, \text{ при } -\frac{\Theta_i^T a_i}{2} < \alpha^1 - \alpha_N^1 < \frac{\Theta_i^T a_i}{2} \\ \Delta\Theta_e = \frac{\alpha^1 - \alpha_N^1 - a_i \cdot 2\Theta_i^T}{b_e}, \Delta\Theta_i = +\Theta_i^T, \text{ при } \frac{\Theta_i^T a_i}{2} < \alpha^1 - \alpha_N^1 < \frac{3\Theta_i^T a_i}{2} \\ \Delta\Theta_e = \frac{\alpha^1 - \alpha_N^1 - a_i \cdot 2\Theta_i^T}{b_e}, \Delta\Theta_i = +2\Theta_i^T, \text{ при } \frac{3 \cdot \Theta_i^T \cdot a_i}{2} < \alpha^1 - \alpha_N^1 \end{cases} \quad (13)$$

Если $4 \cdot b_e \cdot \Theta_e^T < a_i \cdot \Theta_i^T$, то в области определения $\Delta\Theta_e \in [-2 \cdot \Theta_e^T; +2 \cdot \Theta_e^T]$ уравнение (13) имеет единственное решение.

Если $4 \cdot b_e \cdot \Theta_e^T \geq a_i \cdot \Theta_i^T$, то в области определения $\Delta\Theta_e \in [-2 \cdot \Theta_e^T; +2 \cdot \Theta_e^T]$ уравнение (13) имеет два решения.

Чтобы определить значения $\Delta\Theta_i$ и $\Delta\Theta_e$, можно воспользоваться корреляционным анализом и сравнить форму колебаний давления с полученными ранее при известных НПРВ.

Пример: Введем параметр $\Delta\alpha^1 = \alpha_N^1 - \alpha^1$. Тогда для двигателя 4S-FE уравнение (12) примет следующий вид:

$$\begin{cases} \Delta\alpha^1 = 0,2 \cdot \Delta\Theta_e + 26, & \text{при } \Delta\Theta_i = -30 \\ \Delta\alpha^1 = 0,2 \cdot \Delta\Theta_e + 13, & \text{при } \Delta\Theta_i = -15 \\ \Delta\alpha^1 = 0,2 \cdot \Delta\Theta_e, & \text{при } \Delta\Theta_i = 0 \\ \Delta\alpha^1 = 0,2 \cdot \Delta\Theta_e - 13, & \text{при } \Delta\Theta_i = +30 \\ \Delta\alpha^1 = 0,2 \cdot \Delta\Theta_e - 26, & \text{при } \Delta\Theta_i = +30 \end{cases} \quad (14)$$

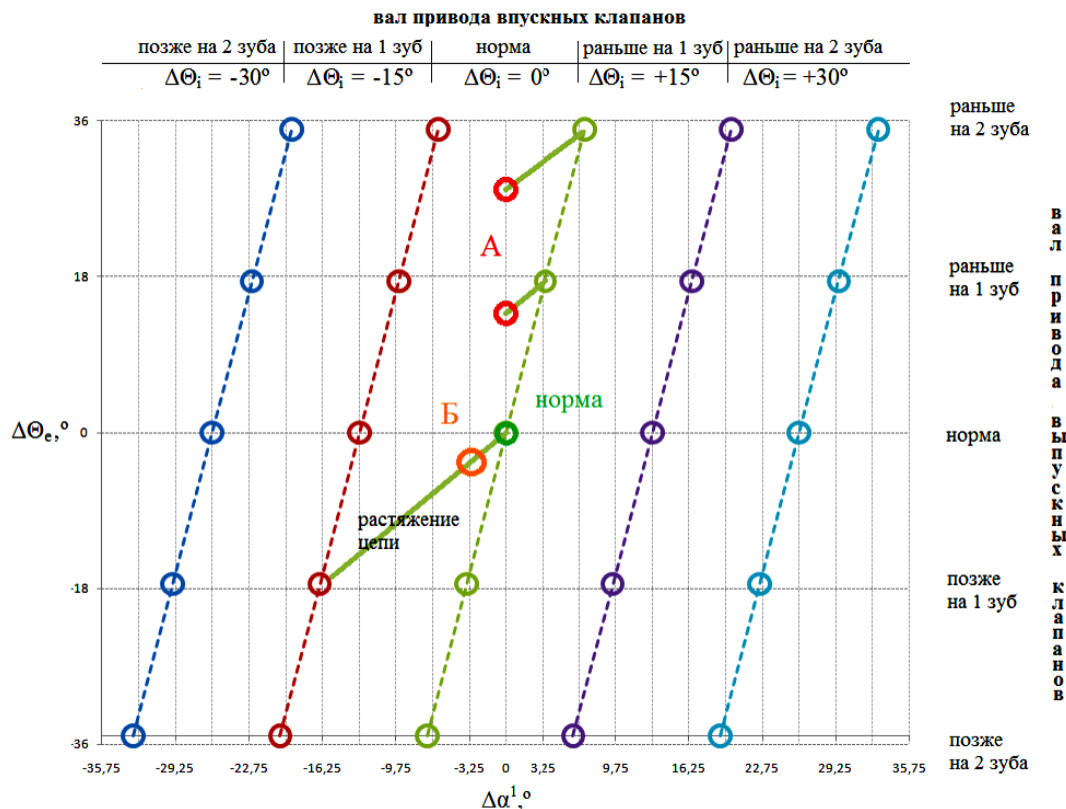


Рисунок 1. График изменения начального угла вала привода выпускных клапанов при изменении диагностического параметра α^1

Диагностическое уравнение для двигателя 4S-FE имеет вид:

$$\begin{cases} \Delta\Theta_e = 5 \cdot \Delta\alpha^1 + 130, & \Delta\Theta_i = -30, & \text{при } \Delta\alpha^1 < -19,5^\circ \\ \Delta\Theta_e = 5 \cdot \Delta\alpha^1 + 65, & \Delta\Theta_i = -15, & \text{при } -19,5^\circ < \Delta\alpha^1 < -6,5^\circ \\ \Delta\Theta_e = 5 \cdot \Delta\alpha^1, & \Delta\Theta_i = 0, & \text{при } -6,5^\circ < \Delta\alpha^1 < +6,5^\circ \\ \Delta\Theta_e = 5 \cdot \Delta\alpha^1 - 65, & \Delta\Theta_i = +15, & \text{при } +6,5^\circ < \Delta\alpha^1 < +19,5^\circ \\ \Delta\Theta_e = 5 \cdot \Delta\alpha^1 - 130, & \Delta\Theta_i = +30, & \text{при } +19,5^\circ < \Delta\alpha^1 \end{cases} \quad (15)$$

Графически диагностические уравнения для двигателя 4S-FE представлены на рисунке 1.

В итоге измерение НПРВ заключается в следующем:

1. На работающем в режиме малых оборотов холостого хода двигателе измеряется давление воздуха во впускном коллекторе.

2. На его основе вычисляется фаза первой гармоники α^1 .

3. Вычитая ее из известного коэффициента $\Delta\alpha^1_N$, получают значение диагностического параметра $\Delta\alpha^1$: $\Delta\alpha^1 = \Delta\alpha^1_N - \alpha^1$.

4. Подставляя параметр $\Delta\alpha^1$ в уравнение (15), получают искомые значения начальных углов установки распределительных валов.

9.09.2011

Список литературы:

1. Федоров, А.Л. Экспериментальное исследование влияния разрегулировки механизма газораспределения на внешнюю скоростную характеристику автомобильного ДВС / А.Л. Федоров, А.И. Федотов // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы диагностики и эксплуатации автомобильного транспорта». ИрГТУ, 2011. – С. 266-271.
2. Федоров, А.Л. Форма колебаний давления во впускном коллекторе как диагностический признак положения распределительных валов // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы диагностики и эксплуатации автомобильного транспорта». ИрГТУ, 2011. – С. 185-192.
3. Федоров, А.Л. Диагностирование механизма газораспределения автомобильного двигателя внутреннего сгорания по изменению объемного расхода воздуха // Материалы международной научно-практической конференции «Повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств на основе современных методов диагностирования». ИрГТУ, 2007. – С. 251-255.

Сведения об авторах:

Федотов Александр Иванович, заведующий кафедрой автомобильный транспорт
Иркутского государственного технического университета, доктор технических наук, профессор
664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ауд. К-115, тел.: (3952) 405853; (3952) 405136,
e-mail: fai.abs@rambler.ru,

Федоров Алексей Леонидович, аспирант кафедры автомобильный транспорт
Иркутского государственного технического университета
Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ауд. К-115, тел.: (3952) 405136, 664074, e-mail: fedorov_a.l@mail.ru

UDC 629.113.004

Fedotov A.I., Fedorov A.L.

Irkutsk state technical university, e-mail: fai.abs@rambler.ru

**DEFINITION OF THE STARTING POSITION OF THE DISTRIBUTION OF THE SHAFT OF THE ENGINE TO
CHANGE PRESSURE IN INLET MANIFOLD**

Control starting position drive shafts-distributing mechanism can be implemented using a diagnostic parameters characteristics of fluctuating pressure air inlet of the engine. The authors suggested parameters and the equation by which such monitoring is possible.

Key words: diagnosis, the engine camshaft, shaft drive inlet valves, pressure fluctuations, the inlet pipe.

Bibliography:

1. Fedotov, A.I. Experimental research about influence gas-distribution mechanism disarrangement on a full-load curve / A.I. Fedotov, A.L. Fedorov // Materials of an international conference «The problems of diagnostics and a vehicle operation» ISTU, 2011. – P. 266-271.
2. Fedorov, A.L. The mode shape of manifold pressure like a diagnostic character of a camshaft position / A.L. Fedorov // Materials of an international conference «The problems of diagnostics and a vehicle operation» ISTU, 2011 – P. 185-192.
3. Fedorov, A.L. Valve control diagnosis of an internal-combustion engine on air-quantity flow alternation / // Materials of an international conference «Effectiveness increases of a vehicle operation on basis of up-to-date diagnosis techniques» ISTU, 2007. –P. 251-255.