

## **ОЦЕНКА ЧИСЛЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ВОЗДУХА ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ПУСКЕ ДИЗЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗОГРЕВА ВПУСКНОГО ЗАРЯДА**

*Б.А. Шароглазов, В.В. Шишков, А.Е. Попов*

## **ESTIMATION OF NUMERICAL IMPORTANCES EXCESS AIR FACTOR WHEN STARTING UNDER LOW TEMPERATURE OF THE DIESELS WITH USE THE HEATING OF THE INLET CHARGE**

*B.A. Sharoglazov, V.V. Shishkov, A.E. Popov*

Предлагается методика оценки численных значений коэффициента избытка воздуха при низкотемпературном пуске дизелей с использованием разогрева впускного заряда продуктами сгорания углеводородных топлив.

*Ключевые слова: впуск, двигатель внутреннего сгорания, дизель, избыточный воздух, коэффициент избытка воздуха, пуск дизеля, сгорание.*

The methods of the estimation of the numerical importances excess air factor is Offered when starting the diesels under low temperature with use the heating of the inlet charge product combustion hydrocarbon fuel.

*Keywords: admission, engine of internal combustion, diesel, surplus air, excess air factor, starting the diesel, combustion.*

К одним из важных показателей дизеля относятся его пусковые качества. Их улучшение возможно на основе изучения и совершенствования внутрицилиндровых процессов, протекающих в период пуска, в частности, совершенствования процессов воспламенения, выгорания топлива и выделения теплоты.

Форсирование дизелей по среднему эффективному давлению и частоте вращения коленчатого вала сопровождается понижением геометрической и действительной степени сжатия. В результате - запуск таких дизелей затруднен: даже при положительных температурах окружающей среды высока вероятность невоспламенения подаваемого в цилиндры топлива и неинтенсивного выделения теплоты.

Своевременное и стабильное воспламенение подаваемого в цилиндр топлива обеспечивается применением средств облегчения воспламенения, среди которых наибольшее распространение получили свечи накаливания (преимущественно в дизелях с разделенной камерой сгорания), легковоспламеняющиеся пусковые жидкости и подогреватели впускного воздуха. Для подогрева свежего заряда используют электрические и электрофакельные подогреватели, подогреватели, использующие теплоту отработавших газов пускового двигателя и другие. Наиболее эффективно повышение температуры впускного воздуха и последующее воспламенение топлива происходит при смешивании воздуха с продуктами сгорания углеводородных топлив. При таком способе облегчения пуска его результативность во многом зависит от доли продуктов сгорания во впускном заряде. Недостаточный разогрев впускного заряда увеличивает период от начала пуска до появления первых вспышек. Высокая концентрация продуктов сгорания может обусловить и ухудшение пуска. Таким образом, влияние параметров впускного заряда, подготавливаемого к использованию в цилиндре посредством разогрева продуктами сгорания топлива, на протекание процессов, происходящих в цилиндре в период пуска, неоднозначно и требует изучения.

Инструментальной базой для этого может служить индикаторная диаграмма давления рабочего тела в цилиндре, соответствующая первым циклам с подачей топлива.

Нужно отметить, что экспериментальное обеспечение решения сформулированной задачи является непростым. Именно этим обстоятельством можно объяснить сравнительную немногочисленность научных работ, посвященных анализу теплоиспользования при пуске [1,2].

Пуск двигателя – процесс кратковременный. Для анализа особенностей выделения теплоты в этот период кроме индикаторной диаграммы цикла необходимы данные о численных значениях коэффициента избытка воздуха, выявление которых представляет определенные трудности.

При разогреве впускного заряда продуктами сгорания углеводородных топлив (например, выпускными газами) необходима оценка численных значений коэффициента избытка воздуха во впускном заряде  $\alpha_s$  и в цилиндре двигателя  $\alpha$ . Не зная численных значений этих параметров, невозможно оценить текущие параметры состояния рабочего тела в цилиндре, а, значит, невозможно выявить такие важные характеристики рабочего цикла, как характеристики активного выделения теплоты, выгорания, тепловых потерь и др. Выявление численных значений  $\alpha$  и  $\alpha_s$ , в свою очередь, связано с необходимостью количественной оценки наличия окислителя: воздуха, во впускном заряде, а затем и в цилиндре двигателя.

Обозначим долю избыточного (свободного) воздуха через  $r_\alpha = M_\alpha / M$ , где  $M_\alpha$  – число молей (количество) избыточного воздуха во впускном заряде, находящемся во впускном трубопроводе или в цилиндре двигателя;  $M$  – общее число молей газа.

Объемная доля избыточного воздуха во впускном заряде  $r_\alpha$  может быть определена, исходя из процентного содержания  $O_\alpha$  кислорода в нем, которое может быть выявлено на основании химического анализа газов, находящихся во впускном трубопроводе. Предпочтительным местом отбора с позиции технической реализации этой задачи является горловина впускных клапанов.

Поскольку содержание кислорода в воздухе (по объему) составляет 21%, объемная доля избыточного воздуха в свежем заряде определяется соотношением  $r_\alpha = O_\alpha / 21$ .

Взаимосвязь объемной доли избыточного воздуха  $r_\alpha$  и коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  выявляется из следующего: если  $r_\alpha = 1$ , то  $\alpha = \infty$ , и  $\alpha = 1$  при  $r_\alpha = 0$ .

Отсюда следует:

$$\alpha_s = (1 - r_\alpha)^{-1}, \quad (1)$$

что справедливо для процессов впуска и сжатия (до момента начала подачи топлива).

Если допустить, что процесс подачи топлива носит мгновенный характер, не растянут во времени и совпадает с началом самовоспламенения, выражение (1) оказывается справедливым вплоть до начала процесса сгорания.

Для процесса сгорания численные значения коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  определяются, исходя из общего понятия этого параметра

$$\alpha = M_0 / L_0, \quad (2)$$

где  $M_0$  – действительное количество воздуха, расходуемое на сжигание одного кг топлива, кг-моль;  $L_0$  – количество воздуха, теоретически необходимое для сжигания одного кг топлива, кг-моль воздуха / кг топлива, которое определяется элементарным химическим составом топлива:

$$L_0 = \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32},$$

Здесь С, Н, О – массовые доли соответственно углерода, водорода и кислорода в топливе.

Из выражения (2) применительно к единичному циклу следует

$$\alpha = r_\alpha \cdot M_a \cdot (G_{m\tau} \cdot L_0)^{-1}, \quad (3)$$

где  $M_a$  – общее число молей рабочего тела в цилиндре двигателя, кг-моль;  $G_{m\tau}$  – цикловая подача топлива, кг/цикл.

Общее число молей рабочего тела, находящегося в цилиндре после завершения впуска, определяется, исходя из уравнения состояния газов.

Применительно к точке  $a_1$  (момент закрытия впускного клапана) индикаторной диаграммы (см. рисунок) оно запишется в виде

$$M_{a_1} = p_{a_1} \cdot V_{a_1} \cdot (R \cdot T_{a_1})^{-1}, \quad (4)$$

## Расчет и конструирование

где  $p_{a1}$ ,  $V_{a1}$ ,  $T_{a1}$  – соответственно давление, полный объем и температура рабочего тела в точке  $a_1$  индикаторной диаграммы;  $R$  – универсальная газовая постоянная.

Температуру рабочего тела в точке  $a_1$  можно с достаточной точностью определить расчетным путем, зная температуру впускного заряда на входе в цилиндр.

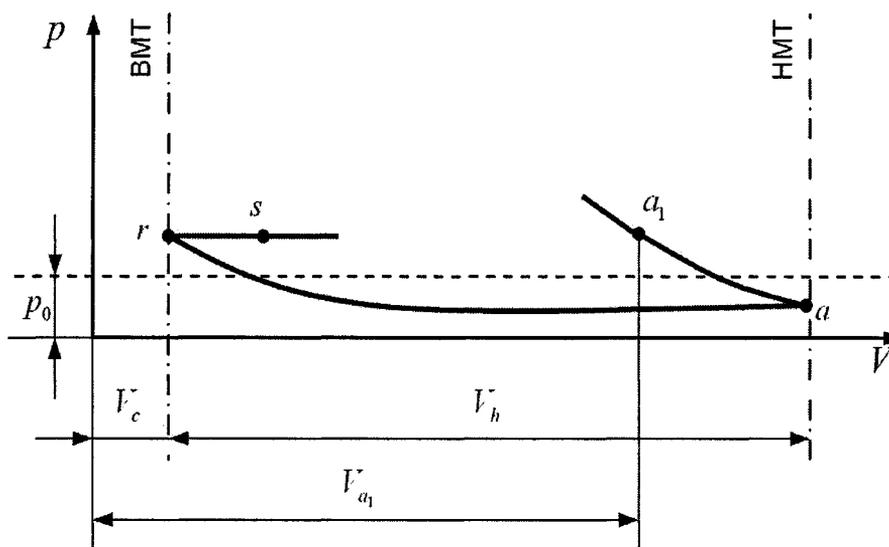


Схема протекания давления рабочего тела в цилиндре двигателя при пуске:  
 $p_0$  – атмосферное давление;  $a_1$  – момент закрытия впускного клапана

Если пренебречь утечками заряда через неплотности цилиндро-поршневой группы, из уравнений (3) и (4) следует

$$\alpha = r_\alpha \cdot M_{a_1} \cdot (G_{mц} \cdot L_0)^{-1}.$$

Таким образом, для определения  $\alpha$  применительно к процессу сгорания необходимо знать полный объем рабочего тела в точке  $a_1$  индикаторной диаграммы, который выявляется из соотношения  $V_{a_1} = V_C \cdot \psi(\alpha_{a_1})$ , где  $V_C$  – объем камеры сгорания, м<sup>3</sup>;  $\psi(\alpha_{a_1})$  – численное значение кинематической функции изменения объема цилиндра для точки  $a_1$  индикаторной диаграммы.

Объем камеры сгорания определяется по выражению  $V_C = V_h \cdot (\varepsilon - 1)^{-1}$ , где  $V_h$  – рабочий объем цилиндра.

Функция  $\psi(\alpha_{a_1})$  применительно к моменту закрытия впускного клапана определяется (для двигателей с центральной схемой кривошипно-шатунного механизма) соотношением [3]:

$$\psi(\alpha_{a_1}) = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[ \left( 1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left( \cos \alpha_{a_1} + \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha_{a_1}} \right) \right],$$

где  $\lambda = r/L_{ш}$  – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна;  $\alpha_{a_1}$  – угол поворота коленчатого вала, соответствующий моменту закрытия впускного клапана.

Еще раз отметим, что в предложенной методике оценки численных значений коэффициента избытка воздуха не учитывается динамика впрыскивания топлива, процесс подачи топлива считается мгновенным, не учитывается изменение числа молей рабочего тела в цилиндре двигателя вследствие утечек через неплотности цилиндро-поршневой группы.

Однако, изложенная методика дает возможность применительно к условиям низкотемпературного пуска при известных химическом составе рабочего тела на входе в цилиндр и цикловой подаче топлива относительно легко рассчитать численные значения коэффициента избытка воздуха, что является необходимым условием для определения текущих параметров состояния рабочего тела в цилиндре и последующего выявления других характеристик рабочего цикла.

### Литература

1. Шароглазов, Б.А. Анализ рабочего цикла дизеля при пуске по индикаторной диаграмме / Б.А. Шароглазов, В. В. Шишков // Двигателестроение. - 1993. - № 3. - С. 3-12.
2. Исследование процесса тепловыделения при выгорании топлива в период пуска дизеля сжатым воздухом / Е.Х. Кадышевич, М.А. Миселев, А.К. Костин и др. // Двигателестроение. - 1980. - М8. - С. 24-30.
3. Шароглазов, Б.А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов: Учебник по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания» / Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарафонов, В.В. Клементьев; под ред. засл. деят. науки РФ Б.А. Шароглазова. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. - 130 с.

Поступила в редакцию 10 мая 2008 г.

**Шароглазов Борис Александрович.** Доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов - исследование и моделирование процессов поршневых двигателей внутреннего сгорания и ДВС необычных схем.

**Boris A. Sharoglazov.** Doctor of engineering science, professor, deserved figure of a science of Russian Federation, head of «Internal Combustion Engines» chair of the South Urals State University. Professional interests: research and modeling of piston internal combustion engines processes and ICE of the unusual types.

**Шишков Виктор Владимирович.** Кандидат технических наук, доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов - исследование и моделирование процессов поршневых двигателей внутреннего сгорания.

**Viktor V. Shishkov.** Candidate of engineering science, senior lecturer of «Internal Combustion Engines» chair of the South Urals State University. Professional interests: research and modeling of piston internal combustion engines processes.

**Попов Александр Евгеньевич.** Ассистент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов - исследование и моделирование процессов поршневых двигателей внутреннего сгорания.

**Aleksandr E. Popov.** Assistant of «Internal Combustion Engines» chair of the South Urals State University. Professional interests: research and modeling of piston internal combustion engines processes.