

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОРКАМЕРЫ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

А.В. Николаенко, д.т.н., Шолин Е.О. аспирант

ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

На кафедре «ДВС и теплотехника» СПбГАУ проводится НИР по эффективному использованию газовых топлив в двигателях.

Разработана модель расчета оптимальных параметров ФК газового двигателя и в качестве примера определены параметры ФК двигателя УЗАМ-3317.

Для современного отечественного и зарубежного двигателестроения характерна тенденция применения в ДВС альтернативных топлив. При этом концептуальным положением организации рабочего процесса является оптимизация процессов смесеобразования и сгорания в зависимости от режимов работы и видов альтернативных топлив.

На кафедре «ДВС и теплотехника» СПбГАУ проводится НИР по эффективному использованию газовых топлив [1], в том числе пропан-бутановых смесей (ПБС). При этом установлено, что увеличение скорости газов в соединительном канале форкамеры (ФК) негативно сказывается на воспламенении газозооной пропан-бутановой смеси и приводит к снижению мощности двигателя вследствие неполноты сгорания топлива. Для обеспечения холодного пуска бензинового двигателя и последующей его надежной работы на ПБС необходимо обеспечить устойчивое воспламенение рабочей смеси штатной системой зажигания. В связи с тем что параметры ФК двигателя, работающего на бензине, не оптимальны при переходе на ПБС, разработана модель расчета оптимальных параметров ФК газового двигателя, и в качестве примера определены параметры ФК двигателя УЗАМ-3317. При этом в качестве критерия оптимизации параметров ФК принимается энергия воспламенения смеси запальной свечой.

Расчет процесса перетекания газов в ФК выполнялся без учета потерь цилиндрических газов в процессе сжатия на основании уравнения сохранения массы:

$$M_a + M_{фк} = M_x + M_{фх} = \text{const}, \quad (1)$$

где  $M_a$ ,  $M_{фк}$  — соответственно масса газа в цилиндре и ФК в конце впуска, кг;  $M_x$ ,  $M_{фх}$  — соответственно текущая масса газа в цилиндре и ФК, кг.

При разработке алгоритма модели оптимальных параметров ФК учитывались фазы газо-

распределения и корректировка угла опережения зажигания центробежным автоматом.

Скорость газа в соединительном канале ФК определялась из условия, что объем газа, вытесненный поршнем при сжатии, перетекает в ФК пропорционально отношению объема камеры к текущему объему цилиндра.

Скорость газа в соединительном канале ФК определена из уравнения [1]

$$C_{кx} = \frac{F \cdot C_x \cdot V_k}{(K_k \cdot V_x \cdot f_k \cdot \mu_k)}, \quad (2)$$

где  $K_k$  — количество соединительных каналов ФК, шт.;  $\mu_k$  — коэффициент расхода;  $f_k$  — площадь поперечного сечения соединительного канала ФК, мм<sup>2</sup>;  $F$  — площадь сечения поршня, м<sup>2</sup>;  $C_x$  — текущая скорость поршня, м/с;  $V_k$  — объем ФК, мм<sup>3</sup>;  $V_x$  — текущий объем цилиндра, м<sup>3</sup>.

При этом скорость поршня и текущий объем цилиндра определялись по известным формулам [2].

Масса газа (кг), вытесненная поршнем из цилиндра в ФК за бесконечно малый промежуток времени в процессе сжатия

$$d(\sigma M_k) = K_k \cdot \mu_k \cdot f_k \cdot C_{кx} \cdot \rho_x dt, \quad (3)$$

где  $\rho_k$  — текущая плотность газов в цилиндре, кг/м<sup>3</sup>.

Интегрирование уравнения (3) проводилось численным методом по формуле трапеций [3].

Если допустить, что режим течения газа в соединительном канале ФК происходит без теплообмена (адиабатный процесс) и показатель адиабаты зависит от температуры цилиндрических газов [4], то текущее значение звуковой скорости в канале в процессе сжатия определяется из уравнения

$$a_x = \sqrt{k \cdot R \cdot T_x}, \quad (4)$$

где  $k$  — показатель адиабаты;  $R$  — газовая постоянная;  $T_x$  — текущая температура цилиндрических газов, К.

Количество воздуха (кг), вытесненного из цилиндра в ФК в процессе сжатия, составит

$$M_{фв} = \frac{\alpha L_0 \cdot M_{ф}}{[(\alpha L_0 + 1)(\gamma_0 + 1)]}, \quad (5)$$

где  $L_0$  — теоретически необходимое количество воздуха для сгорания ПБС;  $\alpha$ ,  $\gamma$  — коэффициенты избытка воздуха и остаточных газов в цилиндре.

Количество ПБС, находящейся в ФК к моменту воспламенения, складывается из количества ПБС, поступившей в ФК при ее наполнении в процессе впуска и вытесненной из цилиндра в процессе сжатия

$$M_{\text{фг}} = \frac{M_{\text{ф}} + M_{\text{г}}(\alpha L_0 + 1)(\gamma_0 + 1)}{(\alpha L_0 + 1)(\gamma_0 + 1)}, \quad (6)$$

где  $M_{\text{г}} = P_{\text{а}}V_{\text{к}}/(R_{\text{г}}T_{\text{а}})$  — масса ПБС, поступившая в ФК за время впуска, кг.

Тогда формула для расчета коэффициента избытка воздуха в ФК к моменту воспламенения ПБС будет иметь вид

$$\alpha_{\text{ф}} = \frac{M_{\text{фв}}}{(L_0 M_{\text{фг}})} = \frac{\alpha M_{\text{ф}}}{M_{\text{ф}} + M_{\text{г}}(\alpha L_0 + 1)(\gamma_0 + 1)}. \quad (7)$$

Анализ уравнения (7) показывает, что на коэффициент избытка воздуха в ФК оказывает влияние коэффициент избытка воздуха в основной камере сгорания, а также масса газа, вытесненная из цилиндра в ФК, величина которой определяется размером соединительного канала.

На основе представленной математической модели и опытных данных была разработана программа оптимизации параметров ФК.

В качестве примера приведены результаты счета скорости газов в соединительном канале (рис. 1) и коэффициента избытка воздуха в ФК (рис. 2) в зависимости от диаметра соединительного канала и объема ФК двигателя УЗАМ-3317 на режиме максимального крутящего момента.

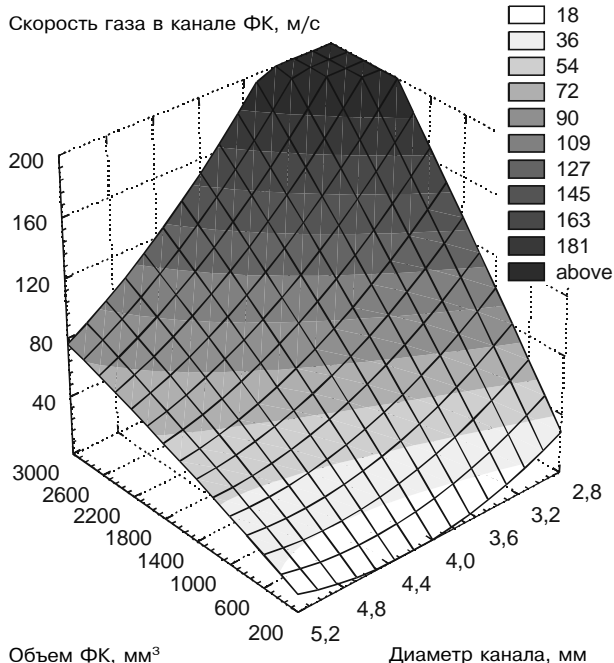


Рис. 1. Зависимость скорости газов в соединительном канале от его диаметра и объема ФК (500–3000 мм<sup>3</sup>)

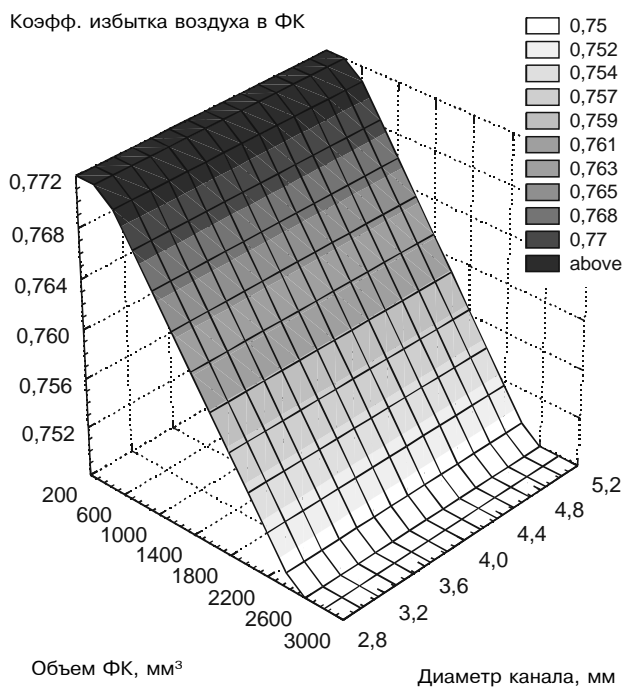


Рис. 2. Зависимость коэффициента избытка воздуха в ФК от его диаметра и объема ФК (500–3000 мм<sup>3</sup>)

Анализ полученных результатов счета показывает, что минимальная энергия воспламенения ПБС в ФК на исследуемых режимах обеспечивается коэффициентом избытка воздуха 0,75–0,77 и минимальной скоростью потока газов 18–36 м/с при объеме ФК 1000 мм<sup>3</sup> и диаметре соединительного канала 4–5 мм. Экспериментально установлено, что критерий оптимизации по энергии воспламенения составил 40–45 мДж. Стендовые испытания двигателя с рекомендованной ФК и полученные при этом индикаторные диаграммы свидетельствуют о том, что повышение мощности двигателя на 1,5 % и экономичности до 4% связано с интенсификацией процесса сгорания за счет перехода от локального воспламенения к объемному воспламенению заряда в основной камере.

#### Литература

1. Николаенко А.В., Максимов А.Т., Шолин Е.О., Сапожников С.В. Разработка модели и программы счета на ПК оптимальных параметров форкамеры газового двигателя с принудительным зажиганием. Сб. науч. трудов СПГАУ. — СПб., 2006. — С. 215.
2. Дьяченко Н.Х. Теория двигателей внутреннего сгорания. — М.—Л., Машиностроение, 1954. — 460 с.
3. Маркович Э.С. Курс высшей математики с элементами теории вероятностей и математической статистики: Учеб. пос. для вузов. — М.: Высшая школа, 1972. — 480 с.
4. Дубовкин Н.Ф. Справочник по углеродным топливам и их продуктам сгорания. — М.—Л., Госэнергоиздат, 1962. — 288 с.