

Глазунов Д.В.

**ВЛИЯНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ГОРЕНИЯ  
НА КАЧЕСТВО ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА**

*D.V. Glazunov*

**EFFECT OF TURBULENT COMBUSTION  
ON THE QUALITY OF THE COMBUSTION PROCESS**

УДК: 621.43.019.2

*В статье проведен анализ процесса горения смеси в цилиндрах двигателя, рассмотрены турбулентные процессы смесеобразования, проведено описание турбулентного горения и расчет его влияния на процесс смесеобразования.*

*This article analyzes the process of combustion of the mixture in the cylinders of the engine, considered by turbulent mixing processes, carried out the description of turbulent combustion and the calculation of its effect on the process of mixing*

Теоретическое описание турбулентного горения в бензиновом двигателе сделано Ю.Б. Свиридовым. Для общего случая наличия мелких и крупных масштабов турбулентности им получена формула для скорости пламени в турбулентной среде

$$U_T = U_H * E * \xi * \sqrt{1 + \frac{\Delta K}{3} * (1 + \Delta K)}, \quad (1)$$

где:  $\Delta = W'/U_h$  - относительная пульсационная скорость соответствующего масштаба;

$\xi$  - коэффициент, учитывающий тепловые потери во фронте пламени;

$E$  - степень расширения заряда,

$$E = 1 + (\lambda^{\frac{1}{n}} - 1) * (1 - y)^2,$$

где:  $\lambda$  - максимальная степень повышения давления;

$y$  - относительная доля сгоревшего объема.

Ю. Б. Свиридовым предложено деление процесса сгорания на фазы в зависимости от масштаба турбулентных пульсаций. В начальной фазе, когда размеры очага пламени невелики, процесс управляется мелкомасштабной закономерностью.

Скорость пламени увеличивается по времени по экспоненциальному закону

$$U_{T.M} \approx U_H * E * \exp(\alpha_{M_0} * \sqrt{k/3} * \frac{t}{\tau_0}), \quad (2)$$

где:  $\alpha_{M_0}$  - функция распределения турбулентных масштабов;

$K$  - относительная интенсивность турбулентности.

Когда очаг горения достигает определенной величины, определяющей станет крупномасштабная

турбулентность. Но в конечной фазе, когда сгорание происходит в основном в глубине зоны пламени, роль крупномасштабного ускорения горения уменьшается и определяющей опять становится мелкомасштабная турбулентность.

За продолжительность первой фазы в теории ДВС условно принимается период, отсчитываемый по индикаторной диаграмме, от момента подачи искры до момента "отрыва" линии сгорания от линии сжатия. При этом относительная доля выгоревшего заряда составляет по массе  $\Delta x_1 = 2,5...3,5\%$ .

Можно определить объем полусферы  $\Delta V_1$ , соответствующий величине  $\Delta x_1$  и затем найти продолжительность первой фазы. Для этого можно составить следующее уравнение:

$$\frac{\Delta V_1}{V_C} = \frac{\lambda_{X.K} * \Delta x_1}{1 + (\lambda_{X.K} - 1) * \Delta x_1},$$

$$\text{где } \Delta V_1 = \frac{4}{3} * \pi * r_1^3.$$

Отсюда находим радиус полусферы начального очага горения

$$r_1 = \sqrt[3]{\frac{3 * V_C * \lambda_{X.K} * \Delta x_1}{4 * \pi * [1 + (\lambda_{X.K} - 1) * \Delta x_1]}} \quad (3)$$

Величину  $r_1$  можно получить также интегрированием уравнения

$$r_1 = \int_{\varphi_X}^{\varphi_C} U_{T.M} * \frac{d\varphi}{6\pi} \approx U_H * \sqrt{1 + \frac{W'_{CF} * \theta_T}{K_M * 6\pi}} \quad (4)$$

Где  $l_{CF}$  - средний масштаб турбулентных пульсаций.

Из последнего выражения определяем угол ПКВ, соответствующий продолжительности первой фазы сгорания

$$\theta_T = \frac{6\pi r_1}{U_H \sqrt{1 + \frac{W'_{CF}}{K_M}}} = \frac{6\pi r_1}{U_H \sqrt{1 + \frac{W'_{CF}}{K_M}}} * \sqrt[3]{\frac{3 * V_C * \lambda_{X.K} * \Delta x_1}{4 * \pi * [1 + (\lambda_{X.K} - 1) * \Delta x_1]}} \quad (5)$$

Следовательно, продолжительность первой фазы зависит в основном от нормальной скорости

сгорания и частоты вращения коленвала. Полученная аналитическая зависимость полностью соответствует экспериментальным данным.

Результаты экспериментальных исследований турбулентного горения в условиях двигателя с искровым зажиганием изложены в работах А.С.Соколова, А.Н. Воинова, Е.С. Семенова, Ю.Б.Свиридова и др. По данным этих работ, экспериментальные зависимости турбулентной скорости горения от интенсивности турбулентности аппроксимируются уравнением

$$U_T = aW' + b, \quad (6)$$

где  $b \approx U_H$ , а коэффициент  $a$  тем больше, чем выше температура горения.

Для быстро реагирующей смеси  $a \approx 2,2$ , для медленно горящей  $a \approx 1$ .

По данным А.Н. Новикова  $a \approx e^{-E/RT}$ .

Зависимость скорости турбулентного горения от давления выражается соотношением.

$$U_T \approx p^n,$$

где  $n = 0,3...0,5$ .

С учетом этих данных эмпирическое уравнение для скорости пламени в крупномасштабном турбулентном потоке можно представить в следующем виде

$$U_m = K_m * p^n * e^{-E/RT} W' + U_H, \quad (7)$$

Величина произведения  $K_T * p^n * e^{-E/RT}$  в уравнении (7) составляет немногим больше единицы, а  $U_H$  не превышает 10% от  $U_T$ , поэтому абсолютные значения и характер протекания турбулентной скорости сгорания почти целиком определяется

величинами и закономерностями изменения по какому-либо параметру скорости крупномасштабных турбулентных пульсаций.

Следовательно, соответствие в математической модели действительной картине распространения пламени в камере сгорания бензинового двигателя определяется в основном тем, насколько точно математическое выражение отражает влияние различных факторов на скорость крупномасштабных пульсаций на протяжении процесса сгорания. Современное состояние газодинамики не позволяет составить такие аналитические выражения. Механизм турбулентности, даже неосложненный горением, недостаточно ясен, поэтому принимается упрощенная модель и составляется для такой модели математическое описание.

#### Литература:

1. Глазунов В.И., Глазунов Д.В. Влияние повышенных температур окружающего воздуха на показатели работы автомобильного карбюраторного двигателя // Известия Кыргызского Государственного технического университета им. И.Раззакова. -2004. - №6. -с.29-32.
2. Глазунов Д.В. , Глазунов В.И. Исследование влияния повышенных температур воздуха и топлива на смесеобразование // Наука и новые технологии.-2003.-№3.-с.105-109.
3. Семенов Н.Н., Соколик А.С., Исследование турбулентности в цилиндре поршневого двигателя. Известия АН СССР, №8, 1988.
4. Соколик А.С., Воинов А.Н., Свиридов Ю.Б., Влияние химических и турбулентных факторов на процесс сгорания в двигателях.М., АН СССР.
5. Соколик А.С., Карпов В.П., О турбулентном горении газов. Физика горения и взрыва. 1967.
6. Воинов А.Н., Термодинамический анализ особенностей рабочего процесса бензинового двигателя с расслоенным зарядом. М., 1971.

Рецензент: д.ф-м.н., профессор Рудаев Я.И.