

Глазунов Д.В

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ГОРЮЧЕЙ СМЕСИ И СТРУКТУРЫ ПЛАМЕНИ В ЦИЛИНДРАХ ДВИГАТЕЛЯ

D.V. Glazunov

STUDY OF AIR-FUEL RATIO AND THE FLAME STRUCTURE IN THE CYLINDER

УДК: 621.43.019.2

В статье проведен анализ процесса горения смеси в цилиндрах двигателя, рассмотрена структура пламени горения смеси, выделены зоны пламени. Выведена зависимость скорости сгорания от состава горючей смеси.

This article analyzes the process of combustion of the mixture in the cylinders of the engine, consider the structure of the flame combustion of the mixture, the zones of the flame. We derive the dependence of the rate of combustion of the air-fuel mixture.

Теперь рассмотрим нормальная скорость сгорания.

Согласно тепловой теории, фронт ламинарного пламени состоит из зоны подогрева (δ_H) и зоны химической реакции (δ_P). Теплота из зоны реакции передается в зону подогрева теплопроводностью и диффузией молекул продуктов сгорания. На рис. 1 представлена структура зоны пламени.

Процесс теплопроводности в стационарном режиме описывается уравнением:

$$\frac{d^2T}{dx^2} - U_H * \frac{c_p \rho_0}{\lambda} \frac{dT}{dx} + \frac{W_{x,P} H_H}{\lambda} = 0, \quad (1)$$

Можно считать, что вся теплота, выделяемая в зоне реакции, передается в зону подогрева. Тогда температура в зоне реакции будет постоянной и $T/dx = 0$. При этом уравнение (1) принимает вид:

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{W_{x,P} Q_H}{\lambda} = 0,$$

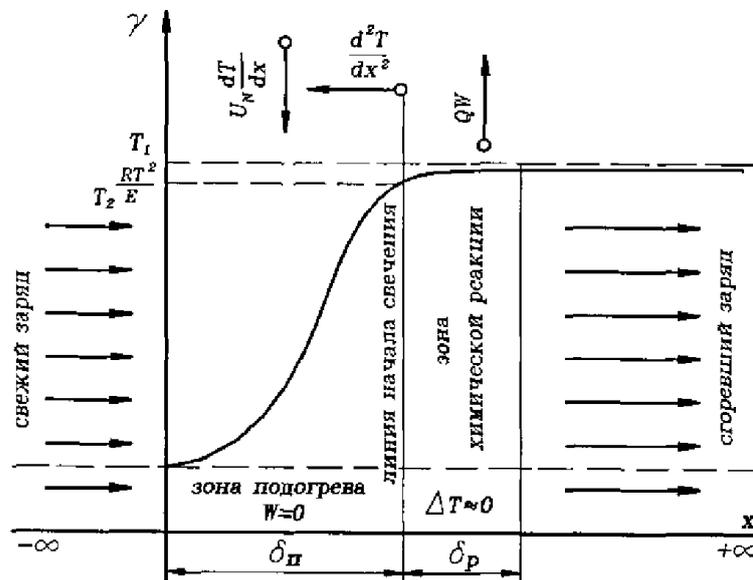


Рис. 1. Структура зоны пламени

Интегрирование уравнения в пределах от $x = 0$ ($T = T_p$) до $x = \delta$ ($T = T_2$) дает:

$$\left(\frac{dT}{dx}\right)_{x=0} = \sqrt{2 \frac{Q_u}{\lambda} \int_{T_p}^{T_2} W_{x,P} dT}, \quad (2)$$

В зоне подогрева $W_x, P = 0$ и уравнение (2) переходит в уравнение теплопроводности:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - U_H * \frac{C_p \rho_0}{\lambda} \frac{dT}{dx} = 0.$$

При условии $\left(\frac{dT}{dx}\right)_{x=0}$ и $T_p = T_z$ получаем $\left(\frac{dT}{dx}\right)_{x=0} = U_H \rho_0 \bar{C}_p \frac{T_z - T_0}{\lambda}$, где $\bar{C}_p(T_z - T_0) = L$ -

теплота сгорания горючей смеси.

Тогда: $\left(\frac{dT}{dx}\right)_{x=0} = U_H \rho_0 L / \lambda$ (3)

Уравнения (2) и (3) решаем совместно относительно U_H :

$$U_H = \frac{1}{\rho_0 L} \sqrt{2\lambda Q_u \int_{T_p}^{T_z} W_{x,p} dT}$$

Заменив $L_p = Q_u U_0$, где U_0 - начальная концентрация горючего, получаем уравнение для нормальной скорости сгорания в общем случае:

$$U_H = \sqrt{\frac{2\lambda}{\rho_0 L U_0} \int_{T_p}^{T_z} W_{x,p} dT}, \quad (4)$$

Для решения интеграла, произведем, как это предложил Д.А. Франк-Каменецкий, следующую замену:

$$\exp(-E/RT) \approx \exp(-E/RT_z) * \exp(-E\Delta T/RT_z^2)$$

Тогда получим

$$\int_{T_p}^{T_z} W_{x,p} dT = \int A * P \exp\left(-\frac{E}{RT_z}\right) dT \approx A * P \exp\left(-\frac{E}{RT_z}\right) * \left(\frac{RT_z^2}{E}\right)$$

С учетом этого имеем

$$A \quad (5)$$

Далее необходимо определить фактические концентрации реагирующих компонентов в зоне реакции, вблизи T_z . С этой целью уравнение баланса вещества

$$U_H = \sqrt{\frac{2\lambda_{max} * A * P * R * T_z^2}{\rho_0 * L * U_0 E} \exp\left(-\frac{E}{RT_z}\right)}, \quad (6)$$

решаем совместно с уравнением теплопроводности (1). Если в последующем продолжить равенство коэффициентов температуропроводности и диффузии $\lambda/C_p\rho = D$, то перечисленные уравнения можно свести к одному

$$C_p T_p + C_p T_u + C_p T_0 + \frac{Q_u a}{\rho_0} = C_p T_z, \quad (7)$$

откуда $a = a_0 * \frac{\rho(T_z - T_u)}{\rho_0(T_z - T_u)}$

Следовательно, текущие концентрации реагирующих компонентов в зоне реакции можно выразить через начальные концентрации и температуры. С учетом этого текущее значение фактора концентрации будет равно

$$P = C_T^m * C_0^n * \frac{\rho(T_z - T_u)}{\rho_0(T_z - T_u)}$$

Учитывая, что

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{T}{T_0}, \text{ и } L = T_Z - T_0 = \frac{L}{C_p}, \quad L = \frac{Q_u - \Delta Q_{хим} - \Delta Q_{дис}}{\alpha * L_0 * (1 + \gamma)}, \text{ после преобразований получаем}$$

(8)

Произведение $APexp(-E/RT_Z)$ является скоростью химической реакции при максимальной температуре в зоне горения $W_{х.р.}^{T_Z}$.

Если воспользоваться формулой Сезерленда для определения текущего значения коэффициента теплопроводности

$$\lambda = \lambda_0 \frac{273 + 118}{T_Z + 118} \left(\frac{T_Z}{273} \right)^{1.5},$$

принять влияние давления на нормальную скорость в виде $U_H \approx P^{-\frac{1}{3}}$ и подставить численные значения некоторых параметров, то получим следующее расчетное уравнение:

$$U_H = \sqrt{\frac{4 * G_{max} * C_p^2}{\rho_0} \left[\frac{\alpha * L_0 (1 + \gamma)}{Q_u - \Delta Q_{хим} - \Delta Q_{дис}} \right]^3 * \left(\frac{T_0}{T_Z} \right)^2 * \left(\frac{RT_Z}{E} \right)^3 * APexp(-E/RT_Z)}.$$

Полученную формулу используем для анализа влияния состава смеси и степени ее загрязнения отработавшими газами на скорость ламинарного пламени.

Результаты расчетов представлены на рис. 2 графики нормальной скорости сгорания, построенные по коэффициенту избытка воздуха, вполне аналогичны графикам скорости химической реакции.

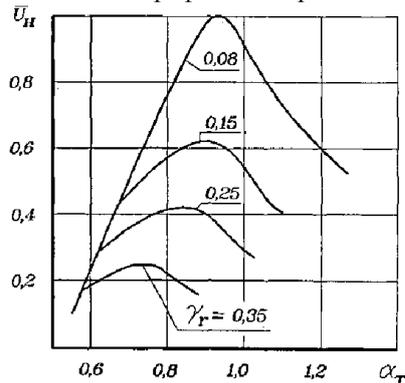


Рис. 2. Зависимость нормальной скорости сгорания от состава горючей смеси

Вывод:

При расчетах без учета диссоциации максимум нормальной скорости сгорания получается при составе горючей смеси, близком к стехиометрическому. При учете диссоциации максимумы нормальной скорости сдвигаются в сторону обогащенных смесей и располагаются в диапазоне значения коэффициента избытка воздуха $\alpha = 0,8...0,95$.

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 расслоенном зарядом. М., 1971.

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