

B-7
K-93

КТБ. 4

РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР —
ВСЕРОССИЙСКИЙ НИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

КУРОПАТЕНКО В.Ф., МУСТАФИН В.К.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПОВЕДЕНИЯ РАБОЧЕЙ СМЕСИ
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЦИКЛА ДВИГАТЕЛЯ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

ПРЕПРИНТ № 51

СНЕЖИНСК 1997 Г.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ
РАБОЧЕЙ СМЕСИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЦИКЛА
ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В.Ф.Куропатенко, В.К.Мустафин

АННОТАЦИЯ

В рамках методики расчета многокомпонентных гетерогенных сред с учетом скоростной и температурной неравновесности компонент численно решена задача о сжатии рабочей смеси в цилиндре карбюраторного двигателя внутреннего сгорания.

MATHEMATICAL MODELLING OF WORKING MIXTURE BEHAVIOUR
WHEN

The prob
internal-comb
limits of mul
with taking in
of components.

burettor
thin the
method
librium

Построена математическая модель движения топливно-воздушной смеси при выполнении рабочего цикла карбюраторного двигателя внутреннего сгорания. В качестве основы для моделирования использована методика РДСМ расчета нестационарных течений многокомпонентных сред с учетом скоростной и температурной неравновесности компонент. Проведено численное исследование состояния рабочей смеси в момент ее воспламенения в зависимости от числа оборотов двигателя. Установлено, что при достаточно высоких оборотах двигателя нарушается однородность состава смеси по пространству, что может приводить к снижению мощности двигателя.

I. Введение.

5
1

На большинстве современных автомобилей установлены поршневые двигатели внутреннего сгорания (ДВС). В них теплота, выделяющаяся при сгорании топлива в цилиндрах, преобразуется в механическую работу.

Принципиальная схема работы четырехтактного одноцилиндрового карбюраторного двигателя изображена на рис. I.

При первом такте - впуске (рис. I, а) - впускной клапан 7 открыт, поршень 2 перемещается из верхней мертвой точки (ВМТ) в нижнюю мертвую точку (НМТ), горячая смесь, поступающая под действием разрежения из карбюратора по впускному трубопроводу 4, заполняет цилиндр, где образуется рабочая смесь, состоящая из горючей смеси (бензин и мелкораспыленное топливо) и отработавших газов.

При втором такте (рис. I, б) оба клапана закрыты и поршень перемещается из НМТ в ВМТ, сжимая рабочую смесь.

БМ
ИН

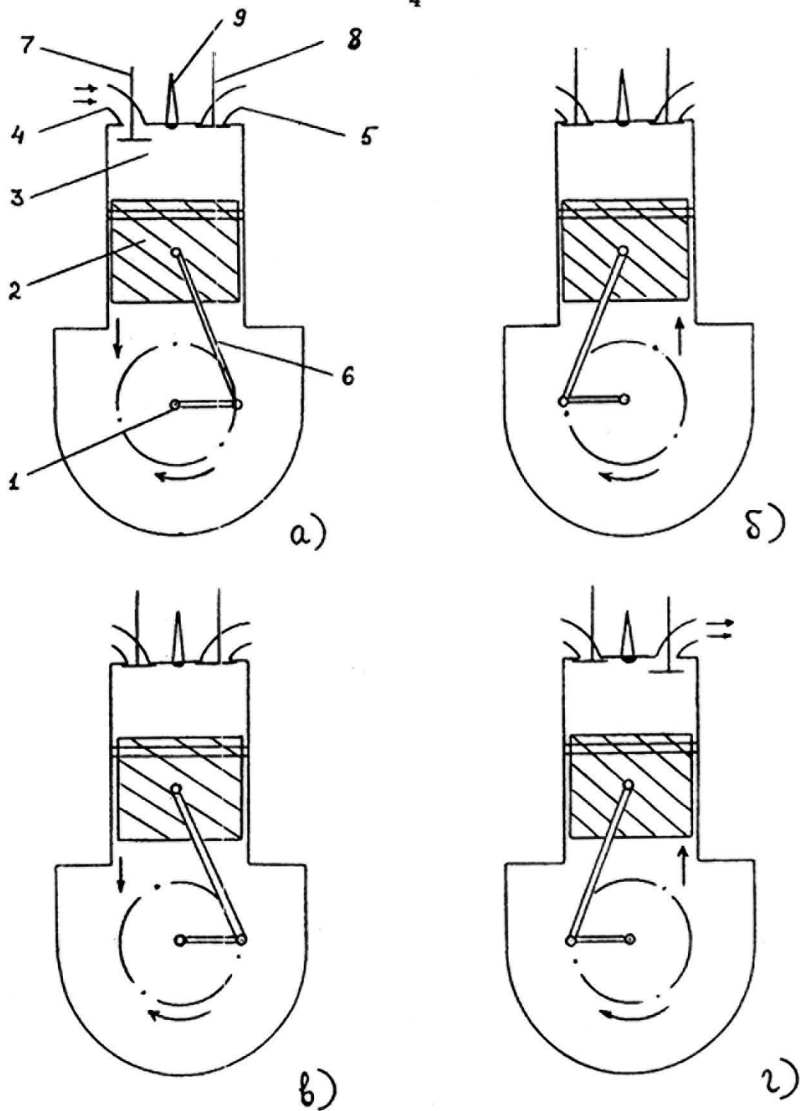


Рис. 1. Схема работы четырехтактного одноцилиндрового карбюраторного двигателя.

- | | | |
|--------------------|---------------------------|----------------------|
| 1. коленчатый вал; | 4. впускной трубопровод; | 7. впускной клапан; |
| 2. поршень; | 5. выпускной трубопровод; | 8. выпускной клапан; |
| 3. цилиндр; | 6. шатун; | 9. свеча зажигания |

Третий такт - расширение газов или рабочий ход (рис. I, в). Оба клапана при этом закрыты. При подходе поршня в конце такта сжатия к ВМТ между электродами свечи зажигания 9 проскакивает электрическая искра. Сжатая рабочая смесь воспламеняется и быстро сгорает, образуя большое количество горячих газов. Газы давят на поршень, который под их давлением перемещается из ВМТ к НМТ и через шатун 6 вращает коленчатый вал I.

Наконец, при четвертом такте - выпуске (рис. I, г) - поршень движется из НМТ в ВМТ и через открытый выпускной клапан 8 вытесняет отработавшие газы в выпускной трубопровод 5.

Схема кривошипно-шатунного механизма, осуществляющего движение поршня в цилиндре, приведена на рис. 2. Закон движения точки В по прямой Ох между точками С и D, соответствующими НМТ и ВМТ, записывается в виде

$$x_B = R \cos \left(\frac{2\pi n t}{60} \right) + \sqrt{\ell^2 - R^2 \sin^2 \left(\frac{2\pi n t}{60} \right)} \quad (I)$$

где t - время, n - число оборотов коленчатого вала в минуту.

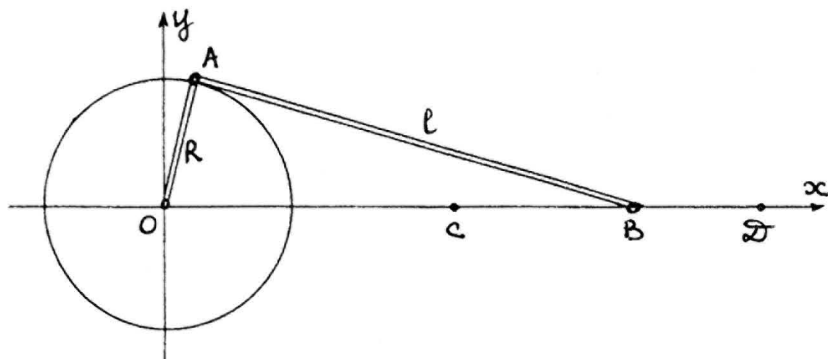


Рис. 2. Схема кривошипно-шатунного механизма.

Состав горючей смеси, поступающей в цилиндры двигателя, характеризуется определенным соотношением масс топлива и воздуха. Для полного сгорания 1 кг бензина теоретически необходимо 15 кг воздуха. Однако количество воздуха, действительно расходуемого на приготовление горючей смеси, может быть больше или меньше теоретически необходимого. Поэтому состав горючей смеси принято характеризовать коэффициентом избытка воздуха β [1]:

$$\beta = \frac{M_g}{M_o}, \quad (2)$$

где M_g - масса воздуха, действительно участвующая в процессе сгорания бензина, M_o - теоретически необходимое количество воздуха. Существует следующая классификация степени обогащения или обеднения горючей смеси (в скобках указаны соответствующие диапазоны изменения массовой концентрации воздуха):

- при $\beta = 0,70 \div 0,85$ ($\chi = 0,913 \div 0,9273$) смесь богатая,
- при $\beta = 0,85 \div 0,95$ ($\chi = 0,9273 \div 0,9344$) - обогащенная,
- при $\beta = 0,95 \div 1,05$ ($\chi = 0,9344 \div 0,9403$) - нормальная,
- при $\beta = 1,05 \div 1,15$ ($\chi = 0,9403 \div 0,9452$) - обедненная,
- при $\beta = 1,15 \div 1,20$ ($\chi = 0,9452 \div 0,9474$) - бедная.

При слишком большом обогащении или обеднении горючая смесь теряет способность воспламеняться. Пределы воспламеняемости горючей смеси: для богатой $\beta = 0,5$ ($\chi = 0,8824$), для бедной $\beta = 1,35$ ($\chi = 0,9529$).

Горючая смесь с определенным содержанием масс топлива и воздуха готовится в карбюраторе ДВС. Для создания оптимального режима горения в начале третьего такта рабочего цикла эта смесь должна быть однородна по пространству. Известно [2, 3], что под действием динамических нагрузок в газовых и дисперсных смесях может происходить разделение компонент по скоростям. Поступающая в цилиндры первоначально однородная смесь подвергается в первом

и втором тактах рабочего цикла действию динамических нагрузок, компоненты – воздух и капли топлива – имеют в каждом объеме среды каждая – свою скорость и, как следствие, однородность смеси по пространству к моменту проскакивания искры между электродами свечи зажигания нарушается.

Для численного моделирования поведения рабочей смеси в цилиндре ДВС и анализа состояния этой смеси в момент ее воспламенения была использована методика РДСМ.

2. Математическая модель гетерогенной среды. Разностный метод.

Для описания процессов, происходящих в двухкомпонентных смесях различной природы, созданы методика и программа РДСМ [4].

Методика РДСМ позволяет рассчитывать одномерные плоские, цилиндрически- и сферически- симметричные неустановившиеся течения двухкомпонентной среды в лагранжевой системе координат в адиабатическом гидродинамическом приближении. Движение двухкомпонентной смеси веществ описывается в рамках уравнений механики гетерогенных сред с учетом скоростной и температурной неравновесности компонент, нестационарности внутренней структуры гетерогенной среды, пористости, прочности, равновесных фазовых переходов. Термодинамические свойства компонент в смесях веществ описываются собственными уравнениями состояния. Знания уравнения состояния смеси веществ не требуется.

Основой для описания течений в двухкомпонентных средах является гипотеза взаимопроникающих континуумов, предложенная Рахматулиным [5]: двухкомпонентная гетерогенная среда представляется совокупностью двух сплошных сред, каждая из которых

описывается своей скоростью, парциальной плотностью, удельной внутренней энергией, давлением, температурой и т.д. Эти сплошные среды взаимопроникают друг в друга и заполняют одновременно один и тот же объем.

Положения гипотезы взаимопроникающих континуумов справедливы при следующих допущениях.

1. Размер частиц компонент в гетерогенной среде много больше молекулярно-кинетических размеров, т.е. частицы содержат большое количество молекул.

2. Размер частиц много меньше расстояний, на которых макроскопические или осредненные параметры гетерогенной среды или компонент меняются существенно (вне поверхностей разрыва).

Одномерные непрерывные плоские, цилиндрически- и сферически-симметричные движения двухкомпонентной смеси описываются следующей системой уравнений [4]

$$\frac{\partial(\alpha_i \rho_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_i \rho_i u_i)}{\partial z} + \frac{(\nu-1)\alpha_i \rho_i u_i}{r} = 0 \quad (3)$$

$$\alpha_i \rho_i \frac{d_i u_i}{dt} + \frac{\partial(\alpha_i p_i)}{\partial z} = R_i \quad (4)$$

$$\alpha_i \rho_i \frac{d_i \varepsilon_i}{dt} + \frac{\partial(\alpha_i p_i u_i)}{\partial z} + \frac{(\nu-1)\alpha_i p_i u_i}{r} = \varphi_i \quad (5)$$

$$p_i = \int_{p_i} (p_i, \varepsilon_i), \quad T_i = \int_{T_i} (p_i, \varepsilon_i) \quad (6)$$

$$(i = 1, 2)$$

где

$$R_1 + R_2 = 0, \quad \varphi_1 + \varphi_2 = 0, \quad \varepsilon_i = E_i + \frac{u_i^2}{2},$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1, \quad \frac{d_i}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u_i \frac{\partial}{\partial z}$$

ν - показатель симметрии задачи, τ - эйлерова координата, t - время, ρ_i - физическая (истинная) плотность, α_i - объемная концентрация, u_i - скорость, P_i - давление, T_i - температура, E_i - удельная внутренняя энергия, индекс i говорит о принадлежности параметра i -й компоненте. Величины R_i и Φ_i , представляющие собой интенсивности обмена импульсом и энергией между компонентами, имеют следующий вид [4]:

$$R_i = \Psi_i \frac{u_j - u_i}{\tau_{ji}^u} \quad (7)$$

$$\Phi_i = R_i u_i + \nu_i R_i (u_j - u_i) + \frac{P_j - P_i}{\tau_{ji}^P} + \Psi_i \frac{T_j - T_i}{\tau_{ji}^T} \quad (8)$$

где τ_{ji}^u , τ_{ji}^P , τ_{ji}^T - времена релаксации, соответственно, скоростей, давлений и температур, Ψ_i , Ψ_i - функции параметров компонент. Первый член в правой части (8) - мощность сил взаимодействия на перемещении, связанном с полем скоростей i -й компоненты. Существование силового взаимодействия приводит к диссипации кинетической энергии гетерогенной среды в единицу времени на величину $(u_j - u_i) R_i$. Диссипированная кинетическая энергия полностью переходит в тепло. Распределение этого тепла по компонентам регулирует коэффициент ν_i .

Для замыкания математической модели гетерогенной среды необходимо указать условия совместного деформирования компонент, т.е. условия для определения объемных концентраций компонент в элементарном объеме гетерогенной среды в процессе его деформации.

В качестве такого условия в методике РДСМ используется предположение о локальном равенстве давлений компонент

$$P_1 = P_2 \quad (9)$$

В численном методе интегрирования системы уравнений математической модели гетерогенной среды используется следующее разбиение по физическим процессам.

Этап 1. В лагранжевой системе координат компоненты рассчитывается ее движение и деформация с учетом силового воздействия со стороны другой компоненты. В результате получаются индивидуальные (несогласованные с условиями совместного деформирования) значения параметров компонент.

Этап 2. В эйлеровой системе координат определяется пространственное соответствие компонент, после чего локально осуществляется перевод их индивидуальных термодинамических состояний в состояние, удовлетворяющее условию совместного деформирования.

Для каждой компоненты вводится в рассмотрение индивидуальная лагранжева система координат, связанная с полем скоростей этой компоненты.

Каждая компонента рассматривается как пространственная область, а двухкомпонентная смесь – как совокупность таких областей, как бы наложенных друг на друга.

Для каждой компоненты строится ее индивидуальная разностная сетка. На сетке компоненты, помимо величин этой компоненты, в смеси определены величины другой компоненты, которые получаются в результате интерполяции величин второй компоненты, определенных на ее собственной сетке, на сетку другой компоненты.

Разностный метод расчета гетерогенного интервала обобщает схему [6] на случай двухкомпонентной среды. Суть разностной схемы состоит в следующем.

II

По известным значениям параметров на момент времени t^n определяются скорости компонент в узлах сетки i -й компоненты на момент времени $t^{n+1} = t^n + \tau$:

$$u_{ki}^{n+1} = u_{ki}^n - \tau f_{ki}^n - \tau R_{kji}^n \frac{u_{ki}^n - u_{kj}^n - \tau (f_{ki}^n - f_{kj}^n)}{1 + \tau (R_{kij}^n + R_{kji}^n)} \quad (I0)$$

$$u_{kj}^{n+1} = u_{kj}^n - \tau f_{kj}^n + \tau R_{kij}^n \frac{u_{ki}^n - u_{kj}^n - \tau (f_{ki}^n - f_{kj}^n)}{1 + \tau (R_{kij}^n + R_{kji}^n)} \quad (II)$$

где

$$f_{ki}^n = \alpha_{ki}^n \frac{\bar{P}_{(k+0,5)i}^n - \bar{P}_{(k-0,5)i}^n}{0,5(m_{(k+0,5)i}^n + m_{(k-0,5)i}^n)},$$

$$f_{kj}^n = (u_{kj}^n - u_{ki}^n) \xi_{kj}^n R_{kji}^n \rho_{kci}^n + \alpha_{kj}^n \frac{\rho_{kci}^n (\bar{P}_{(k+0,5)j}^n - \bar{P}_{(k-0,5)j}^n)}{0,5 \rho_{kcj}^n (m_{(k+0,5)i}^n + m_{(k-0,5)i}^n)},$$

$$m_{(k+0,5)i}^n = (\alpha \rho)_{(k+0,5)i}^n (\tau_{(k+1)i}^n - \tau_{ki}^n),$$

$$\rho_{kci}^n = \frac{M_{(k+0,5)i} + M_{(k-0,5)i}}{(\tau_{(k+0,5)i}^n)^D - (\tau_{(k-0,5)i}^n)^D},$$

$$M_{(k+0,5)i} = L_D (\alpha \rho)_{(k+0,5)i}^n [(\tau_{(k+1)i}^n)^D - (\tau_{ki}^n)^D],$$

$$L_{\nu} = \begin{cases} 1, & \text{при } \nu=1 \\ \pi, & \text{при } \nu=2 \\ \frac{4\pi}{3}, & \text{при } \nu=3, \end{cases}$$

$$\tilde{m}_{kj}^n = \begin{cases} \frac{u_{(k+1)j}^n - u_{kj}^n}{m_{(k+0,5)i}^n}, & \text{если } u_{kj}^n - u_{ki}^n < 0 \\ \frac{u_{kj}^n - u_{(k-1)j}^n}{m_{(k-0,5)i}^n}, & \text{если } u_{kj}^n - u_{ki}^n \geq 0, \end{cases}$$

$$\bar{\alpha}_{ki}^n = \frac{\Theta_{(k-0,5)i}^n \bar{\alpha}_{(k-0,5)i}^n + \Theta_{(k+0,5)i}^n \bar{\alpha}_{(k+0,5)i}^n}{\Theta_{(k-0,5)i}^n + \Theta_{(k+0,5)i}^n},$$

$$\bar{\alpha}_{kj}^n = 1 - \bar{\alpha}_{ki}^n, \quad \Theta_{(k\pm 0,5)i}^n = \frac{M_{(k\pm 0,5)i}}{(\alpha\rho)_{(k\pm 0,5)i}^n}, \quad R_{kj}^n = \frac{(\varphi_i)_k}{(\tau_{ji}^n \alpha_{jj}^n)^n}$$

После определения скоростей рассчитываются новые координаты узлов и диссипация кинетической энергии на шаге τ :

$$z_{ki}^{n+1} = z_{ki}^n + \tau u_{ki}^{n+1} \quad (12)$$

$$\Delta Q_{kji}^{n+1} = R_{kji}^n (u_{ki}^{n+1} - u_{kj}^{n+1})^2 \tau \quad (13)$$

После этого производится расчет индивидуальных термодинамических параметров компонент. При этом предполагается

$$b_i = 0, \quad \frac{\partial_i \alpha_i}{\partial t} = 0 \quad (14)$$

т.е. учитывается только силовое взаимодействие компонент. В разностной схеме различаются ячейки, содержащие ударную волну, и ячейки, содержащие волну разрежения.

Если $\Delta u = u_{(k+1)i}^{n+1} - u_{ki}^{n+1} \geq 0$, то считается, что в ячейке находится волна разрежения. В этом случае величины $P_{(k+0,5)i}^{n+1}$ и $E_{(k+0,5)i}^{n+1}$ получаются в результате интегрирования уравнения изэнтропии i -й компоненты с необходимой точностью.

Если $\Delta u = u_{(k+1)i}^{n+1} - u_{ki}^{n+1} < 0$, то считается, что в интервале находится ударная волна. В этом случае для определения $\bar{P}_{(k+0,5)i}^{n+1}$ численно решается система уравнений, являющихся следствием соотношений на поверхности сильного разрыва:

$$\begin{aligned} [(\bar{p}^{n+1} - p^n)(\bar{V}^{n+1} - V^n)]_{(k+0,5)i} &= -(\Delta u)^2, \\ \bar{E}_{(k+0,5)i}^{n+1} &= E_{(k+0,5)i}^n + 0,5(\Delta u)^2 - P_{(k+0,5)i}^n [\bar{V}^{n+1} - V^n]_{(k+0,5)i}, \\ \bar{P}_{(k+0,5)i}^{n+1} &= f(\bar{p}_{(k+0,5)i}^{n+1}, \bar{E}_{(k+0,5)i}^{n+1}), \\ \bar{V}_{(k+0,5)i}^{n+1} &= \frac{1}{\bar{P}_{(k+0,5)i}^{n+1}} \end{aligned} \quad (15)$$

После этого находят $E_{(k+0,5)i}^{n+1}$ по формуле

$$E_{(k+0,5)i}^{n+1} = E_{(k+0,5)i}^n - 0,5 [\bar{P}_{(k+0,5)i}^n - \bar{P}_{(k+0,5)i}^{n+1}] [V_{(k+0,5)i}^{n+1} - V_{(k+0,5)i}^n] \quad (16)$$

После этого осуществляется 2-й этап расчета. Суть его состоит в том, чтобы по индивидуальным значениям параметров компонент в данной точке определить параметры гетерогенной среды и компонент, удовлетворяющие условиям их совместного деформирования. После осуществления 2-го этапа все термодинамические параметры приобретают новые значения:

$$\alpha_i^{n+1}, \rho_i^{n+1} = \rho_j^{n+1}, E_i^{n+1}, E_j^{n+1}, \bar{\alpha}_i^{n+1}, \bar{\rho}_i^{n+1} = \bar{\rho}_j^{n+1}, \bar{E}_i^{n+1}, \bar{E}_j^{n+1}$$

На этом вычислительный цикл заканчивается.

При определении шага τ учитываются соображения устойчивости (условие Куранта) и точности (ограничение на деформацию интервала, ограничение на изменение объемной концентрации в интервале).

Программа РДСМ, реализующая методику РДСМ, написана на языке программирования ФОРТРАН в рамках ЕС ЭВМ.

3. Постановка задачи. Результаты расчетов.

Для конкретизации всех узлов ДВС и параметров процесса был выбран двигатель ВАЗ-2106 с рабочим объемом цилиндра 1600 см³. Для такого двигателя длины кривошипа, шатуна (рис. 2) и степень сжатия S составляют [7]

$$R = 4 \text{ см}, \quad l = 13,2 \text{ см}, \quad S = 8,5 \quad (17)$$

Максимальное число оборотов двигателя $n_{\max} = 5400$.

Примем следующие допущения, упрощающие математическую постановку задачи.

1. Рабочая смесь, подвергающаяся расширению и сжатию в цилиндре ДВС, - двухкомпонентная, состоящая из воздуха и мелко-распыленного топлива.

2. Капельки топлива сферические, равномерно распределены по пространству и имеют одинаковый среднестатистический радиус $a = 5$ мкм [8].

3. Крышка камеры сгорания плоская.

4. Течение смеси в цилиндре - одномерное, плоское.

Будем предполагать, что термодинамические свойства воздуха описываются уравнениями состояния идеального газа

$$p = (\gamma - 1) \rho E, \quad E = C_v T \quad (18)$$

с $\gamma = 1.4$, $C_v = 0.66667$. Для описания термодинамических свойств бензина воспользуемся уравнением состояния [9], описывающим конденсированное и газообразное состояния вещества и соответствующий фазовый переход.

Учитывая малость частиц, будем предполагать выполнение в смеси гипотезы локального равенства давлений и температур компонент. В этом случае третье и четвертое слагаемые правой части (8) равны нулю.

Для определенности будем считать, что в цилиндры поступает нормальная рабочая смесь с коэффициентом избытка воздуха $\beta = 1$.

Математически задачу можно поставить следующим образом.

Двухкомпонентная смесь воздуха с капельками бензина в момент времени $t = 0$ находится при давлении $P_0 = 1$ атм и температуре $T_0 = 350^\circ\text{K}$ (температура прогретого двигателя) в полубесконечном пространстве $x \geq x_{\text{вмт}}$, ограниченном слева поршнем. Массовые концентрации бензина и воздуха постоянны по пространству и равны, соответственно, $h_g = 0.0625$ и $h_b = 0.9375$.

При $t > 0$ поршень совершает движение со скоростью

$$V = \frac{dx_B}{dt} \quad (19)$$

где закон движения $x_B = x_B(t)$ дается формулой (1) с параметрами (17). Совместим начало координат $x = 0$ с центром вращения кривошипа OA (рис. 2) и считаем, что координата поверхности поршня совпадает с точкой B . В этом случае координаты BMT и HMT

$$x_{BMT} = l + R, \quad x_{HMT} = l - R \quad (20)$$

В конце первого такта, когда поршень находится в положении x_{HMT} , цилиндр закрывается сверху жесткой крышкой ($u=0$) с координатой $\tilde{x} = x_{BMT} + \tilde{x}$, где величина \tilde{x} определяется степенью сжатия смеси S :

$$\tilde{x} = \frac{x_{BMT} - x_{HMT}}{S - 1} \quad (21)$$

Ставится задача определения распределений концентраций компонент в момент воспламенения смеси (т.е. в конце такта сжатия).

На рисунке 3 показана зависимость координаты поршня от времени (кривая $K\mathcal{N}$) при числе оборотов двигателя $n = 4000$. Продолжительность рабочего цикла при этом составляет 0.03 с. Пунктиром на рисунке показана прямая $x = \tilde{x}$. Точка \mathcal{L} соответствует концу такта впуска (смена краевого условия), точка M — концу такта сжатия. Профили массовой концентрации воздуха для этого расчета, соответствующие моменту проскакивания искры (сплошная линия) и моменту окончания горения смеси (пунктир), представлены на рисунке 4. По оси абсцисс на этом и последующих рисунках откладываются безразмерные координаты

$$\tilde{m} = \frac{x - x_B(t)}{\bar{x} - x_B(t)} \quad (22)$$

Штриховкой на рисунке выделена область нормальной смеси, линии 1 и 2 - внешние границы области, в которой смесь обеднена или обогащена. За пределами области с внешней границей 3 смесь не горит. На рисунке 5 представлена зависимость массовой концентрации воздуха от координаты в расчете с числом оборотов $n = 2000$. Все обозначения те же, что и на рисунке 4.

Анализируя приведенные результаты, можно сделать два основных вывода.

1. Распределение концентраций компонент при высоких оборотах двигателя к моменту воспламенения смеси перестает быть равномерным по пространству и значительные участки графика массовой концентрации воздуха $\chi_B(\xi)$ находятся не только вне области нормальной смеси, но и за пределами области, в которой смесь обеднена или обогащена. При низких оборотах двигателя распределение концентраций воздуха и бензина к моменту воспламенения горючей смеси сохраняется близким к равномерному.

2. Распределения концентраций компонент, соответствующие началу и окончанию горения смеси, отличаются мало.

С учетом последнего обстоятельства в дальнейшем анализировались лишь профили массовых концентраций, отвечающие моменту окончания горения.

Основываясь на результатах предварительных расчетов, можно поставить задачу определения такого числа оборотов n коленчатого вала, при котором изменение массовых концентраций компонент рабочей смеси по всему протяжению камеры сгорания не выходит за

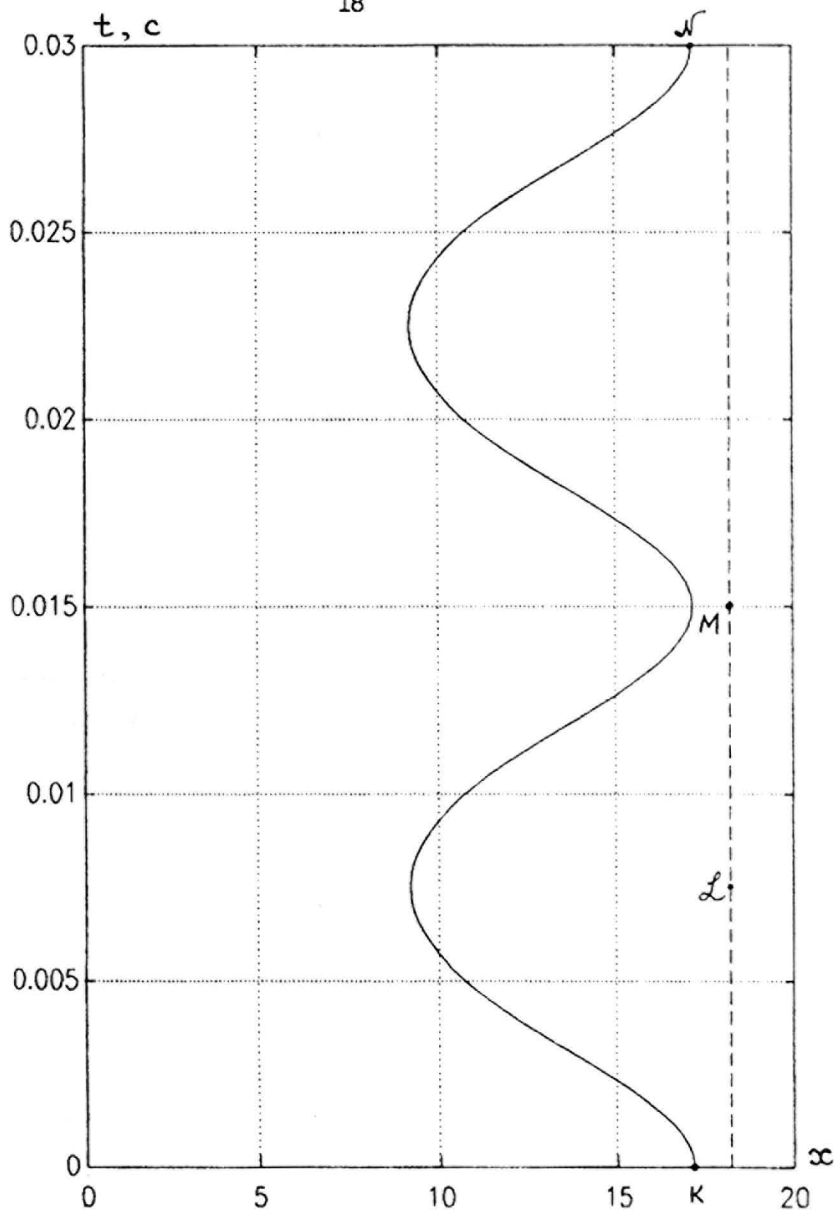


Рис. 3. Зависимость координаты поршня x от времени t .

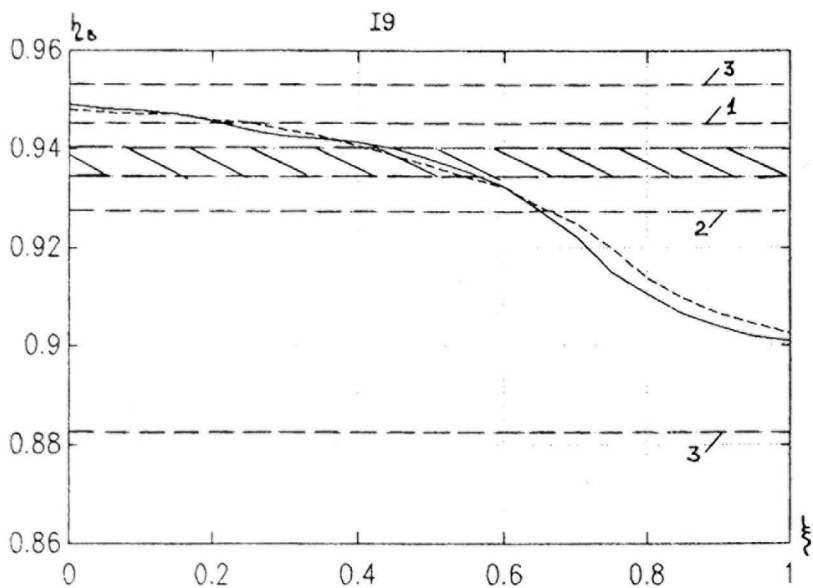


Рис. 4. Зависимость массовой концентрации воздуха z_b от безразмерной координаты ξ при $n=4000$.

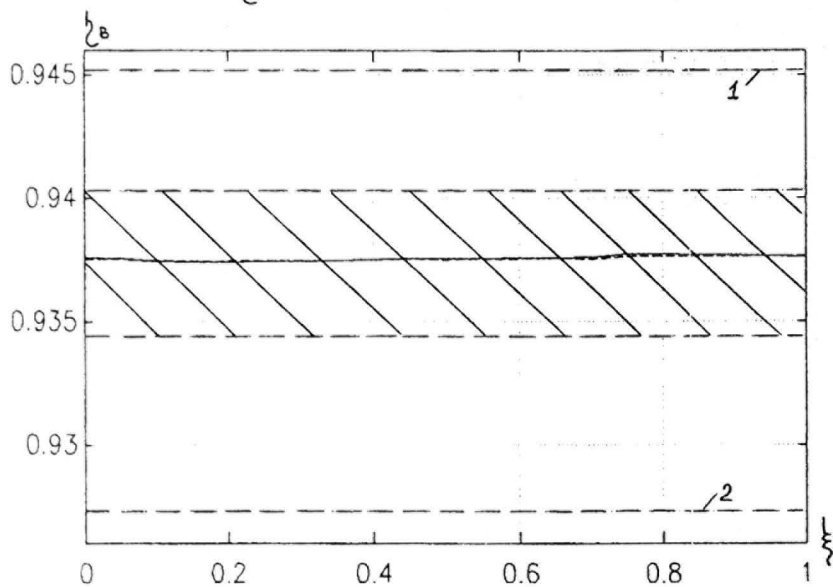


Рис. 5. Зависимость массовой концентрации воздуха от безразмерной координаты ξ при $n = 2000$.

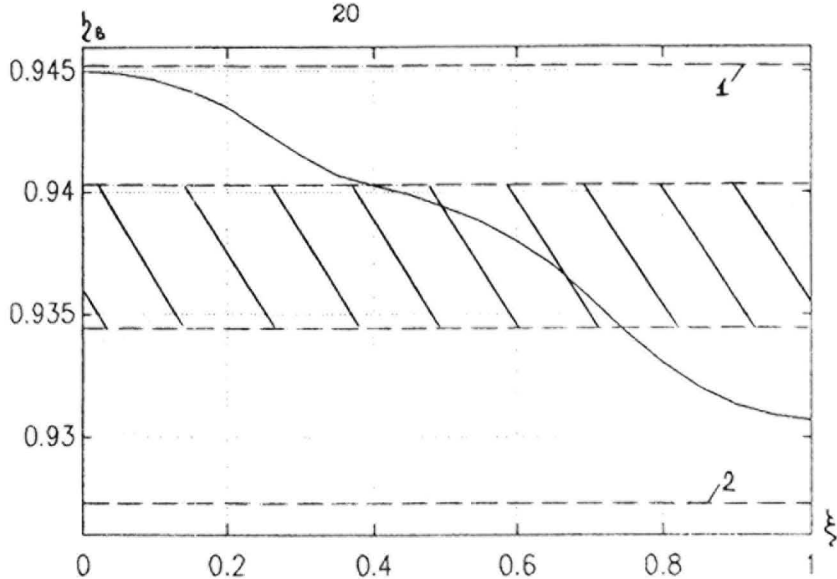


Рис. 6. Зависимость $z_b(\xi)$ при $n = 3600$.
Удовлетворительное распределение компонент рабочей смеси
по пространству.

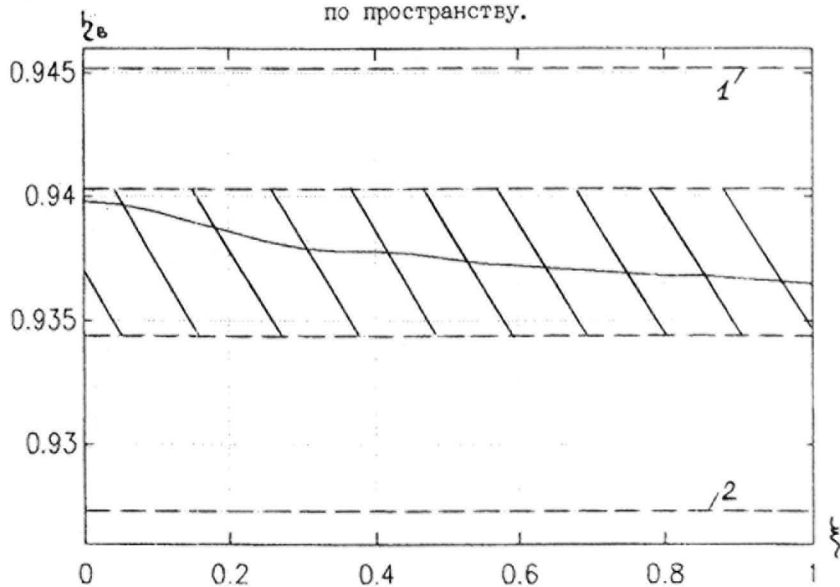


Рис. 7. Зависимость $z_b(\xi)$ при $n = 2700$. Рабочая
смесь имеет нормальный состав по пространству.

границы областей обогащенной или обедненной смесей или, более того, не выходит за границы области нормальной смеси.

Расчеты по программе РДСМ на предмет оптимизации числа оборотов двигателя велись в интервале изменения n от 2000 до 5400 с шагом $\Delta n = 100$.

Расчеты показали, что при $n \leq 3600$ условные границы обедненной или обогащенной смеси не превышаются (рис. 6), т.е. горение будет осуществляться в тех областях, где смесь является нормальной, обогащенной или обедненной. При $n \leq 2700$ горение будет осуществляться целиком в области нормальной смеси (рис. 7). Было также установлено, что при $n \geq 4400$ часть кривой $\eta_B(\xi)$ (при $n = 4400$ до 25% по массе рабочей смеси) оказывается за пределами области горения, что может приводить к неполному сгоранию смеси, и как следствие, существенно снижать эффективность работы двигателя. При $n = 5400$ (максимальное число оборотов двигателя ВАЗ-2106) только около 40% массы рабочей смеси оказывается в пределах области горения и только $\approx 10\%$ - в пределах области горения нормальной смеси.

4. Выводы

Основной результат проделанной работы - создание математической модели и принципиальная возможность описания в рамках методики РДСМ процесса сжатия рабочей смеси воздуха с мелкораспыленным топливом в цилиндре карбюраторного двигателя внутреннего сгорания. Расчеты движения рабочей смеси при выполнении тактов впуска и сжатия проведены для двигателя ВАЗ-2106 с рабочим объемом цилиндра 1600 см^3 . Расчетным путем установлено следующее.

1. При достаточно высоких оборотах двигателя распределение компонент по объему камеры сгорания к моменту воспламенения рабочей смеси становится неравномерным: в верхней части камеры сгорания (вблизи свечи зажигания) смесь обогащена бензином, тогда как в нижней части камеры сгорания массовая концентрация воздуха выше. При малых оборотах двигателя распределение концентраций воздуха и бензина к моменту воспламенения рабочей смеси сохраняется близким к равномерному.

2. Проведены расчеты по исследованию влияния скоростной неравновесности компонент нормальной (с коэффициентом избытка воздуха $\beta = 1$) рабочей смеси на состояние этой смеси в момент ее воспламенения. Установлено, что при числе оборотов $n \geq 4400$ должно иметь место неполное сгорание смеси с возможным снижением мощности двигателя. При $2700 < n \leq 3600$ должен осуществляться удовлетворительный режим горения смеси, когда в различных частях камеры сгорания смесь является нормальной, обогащенной или обедненной. При $2000 < n \leq 2700$ смесь на всем протяжении камеры сгорания является нормальной, наконец, при $n \leq 2000$ смесь имеет практически однородный по пространству состав, совпадающий с исходным нормальным.

Литература

1. Михайловский Е.В., Серебряков К.В., Тур Е.Я. Устройство автомобиля. - М.: Машиностроение, 1985.
2. Яненко Н.Н., Солоухин Р.И., Пальфрин А.Н., Фомин В.М. Сверхзвуковые двухфазные течения в условиях скоростной неравновесности частиц. - Новосибирск: Наука, 1980.
3. Дейч М.Е., Филиппов Г.А. Газодинамика двухфазных сред. - М.: Энергоиздат, 1968.
4. Куропатенко В.Ф., Буряков О.В., Мустафин В.К., Брезгина Л.П., Додонова М.В. Методика расчета нестационарных течений в многослойных неравновесных смесях веществ//Математическое моделирование. - 1992, т. 4, № 9, с. 82-100.
5. Рахматулин Х.А. Основы газодинамики взаимопроникающих движений сжимаемых сред//ПММ. - 1956, т.20, вып. 2, с. 184-195.
6. Куропатенко В.Ф. О разностных методах для уравнений гидродинамики//В сб. Труды Математического института им.В.А.Стеклова.- 1966, XXIV, с. 107-137.
7. Каталог запасных частей автомобиля ВАЗ-2106 и его модификаций. - М.: Машиностроение, 1986.
8. Итинская Н.И., Кузнецов Н.А. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям. - М.: Колос, 1982.
9. Саложников А.Т., Першина А.В. Интерполяционное уравнение состояния в области испарения//Вопр. атомной науки и техники, Сер. методики и программы численного решения задач математической физики. - 1984, в. 2(16), с. 29-33.

Подписано в печать 8.04.97 дд № 2886
Заказ № 53. Тираж 50 экз. уч.изд.л. I.I
отпечатано в отделе научно-технической
информации ВНИИТФ
456770, г.Снежинск, Челябинской обл.,
а/я 245, ВНИИТФ, ОНТИ
© РФЯЦ - ВНИИТФ