

РАСЧЕТ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ В ДВИГАТЕЛЕ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ И ПРОДУВАЕМОЙ ФОРКАМЕРОЙ

И.В. Кузнецов

Приведены схема и расчетная модель смесеобразования в двигателе внутреннего сгорания с искровым зажиганием и продуваемой форкамерой, основанные на открытии учеными Института химической физики РАН высокой химической активности продуктов сгорания обогащенной топливовоздушной смеси. Показано, что параметры смесеобразования, полученные при расчетах, отличаются от параметров, полученных при экспериментах, не более чем на 5 % в широком диапазоне изменения скоростных и нагрузочных режимов работы двигателя.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, модель смесеобразования, коэффициент продувки форкамеры, угол опережения зажигания, коэффициент избытка воздуха, коэффициент остаточных газов, коэффициент наполнения.

Введение

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) остаются наиболее экономичными и надежными тепловыми машинами. Реальные конкуренты ДВС для использования на транспорте и в автономных источниках энергии не просматриваются даже в обозримом будущем.

Однако для дальнейшего развития двигателестроения необходимо разрешить ряд проблем, к которым, прежде всего, относятся снижение выбросов вредных веществ с отработавшими газами (ОГ) и расхода топлива.

Решение этих задач немыслимо без существенного воздействия на рабочий процесс в цилиндре ДВС, аналитические исследования которого позволяют расширить представления о новых разработках и ускорить их внедрение в промышленность.

Одним из перспективных направлений современного развития ДВС с искровым зажиганием является обеспечение эффективного сгорания в ДВС обедненных смесей, что позволит одновременно улучшить топливную экономичность и снизить содержание вредных веществ в ОГ. К таким ДВС относятся ДВС с продуваемой форкамерой, которые по сравнению с обычным искровым ДВС имеют более чем на 10 % сниженный расход топлива и значительно меньшее содержание вредных веществ в ОГ [1].

Вопросы, связанные с расчетом смесеобразования в форкамерном ДВС, сложны и пока полностью не решены.

Схема смесеобразования в ДВС с искровым зажиганием и продуваемой форкамерой

Качество газообмена в ДВС оценивали не по абсолютному количеству поступившего свежего заряда, а по относительному количеству, которое называется коэффициентом наполнения и определяется по формуле

$$\eta_v = \frac{G_{в\Sigma}}{V_h \rho_v \cdot 30n}, \quad (1)$$

где $G_{в\Sigma}$ – суммарный расход воздуха, поступающего в цилиндры ДВС, кг/ч; V_h – рабочий объем ДВС, м³; ρ_v – плотность воздуха, кг/м³; n – частота вращения коленчатого вала ДВС, мин⁻¹.

Относительное количество смеси, поступившей в форкамеру, называется коэффициентом продувки форкамеры, который определяли по формуле

$$K = \frac{G_{в2}}{V_\phi \rho_v \cdot 30n}, \quad (2)$$

где $G_{в2}$ – расход воздуха, поступившего в форкамеру, кг/ч; V_ϕ – объем форкамеры, м³.

Качество смеси, поступающей в ДВС с продуваемой форкамерой, оценивали суммарным коэффициентом избытка воздуха, который определяли по формуле

$$\alpha_\Sigma = \frac{G_{в\Sigma}}{G_{т\Sigma} l_o}, \quad (3)$$

где $G_{т\Sigma}$ – суммарный расход топлива через ДВС, кг/ч; l_o – стехиометрическое количество воздуха для сжигания 1 кг топлива, кг/кг.

Коэффициент избытка воздуха в заряде, поступающем в цилиндр, определяли по формуле $\alpha_1 = G_{b1} / (G_{t1} l_0)$, а коэффициент избытка воздуха, поступающего в форкамеру, – по формуле $\alpha_2 = G_{b2} / (G_{t2} l_0)$, в которых G_{b1} , G_{t1} и G_{b2} , G_{t2} – расходы воздуха и топлива, поступающих в цилиндр и форкамеру соответственно, причем $G_{b1} + G_{b2} = G_{b\Sigma}$, а $G_{t1} + G_{t2} = G_{t\Sigma}$.

Степень сжатия в форкамерном ДВС рассчитывали по формуле

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c + V_\phi}{V_c + V_\phi},$$

где V_c – объем камеры сгорания в цилиндре.

При разработке расчетной модели для получения оптимальных смесей в цилиндре и в форкамере при сжатии к моменту зажигания представим схему процесса смесеобразования с движением смесей, которые должны поступать в цилиндр и форкамеру при впуске в ДВС с продуваемой форкамерой (рис. 1).

Перед впуском в ДВС свежего заряда объем V_ϕ форкамеры и объем цилиндра заполнены ОГ от предыдущего цикла (рис. 1, а).

При впуске в ДВС поступает заряд с объемом $V_h \eta_v$ смеси и коэффициентом избытка воздуха α_Σ . Одна его часть, с объемом $V_\phi K$ обогащенной смеси и коэффициентом избытка воздуха α_2 , поступает в форкамеру, а другая, с объемом $V_h \eta_v - V_\phi K$

обедненной смеси и коэффициентом α_1 , подается в цилиндр (рис. 1, б).

Смесь объемом $V_\phi K$ в любой момент времени перемешивается в форкамере с ОГ от предыдущего цикла объемом V_ϕ , образуя смесь ОГ и чистой смеси объемом $V_\phi(K+1)$ с коэффициентом α_2 . Часть объема смеси $V_\phi(K+1)$, равная объему $V_\phi K$ обогащенной смеси с коэффициентом α_2 , поступает из форкамеры в цилиндр при ее продувке и образует с чистой цилиндровой смесью, имеющей коэффициент α_1 , смесь объемом $V_\phi(\varepsilon_d - 1)$ (ε_d – действительная степень сжатия к моменту зажигания), состоящую из смеси ОГ форкамеры и ОГ цилиндра, а также чистой обогащенной смеси с промежуточным коэффициентом избытка воздуха α' (рис. 1, в).

При сжатии к моменту зажигания смесь с коэффициентом α' и ОГ войдет в форкамеру и образует с находящейся там смесью с коэффициентом α_2 и ОГ новый состав смеси с коэффициентом α_ϕ и ОГ. В камере сгорания к этому времени будет образована гомогенная смесь с коэффициентом α_Σ и ОГ. Смесь с коэффициентом α_ϕ зажигается в форкамере свечой зажигания и продуктами ее сгорания, истекающими через сопловой канал, затем возникает объемное воспламенение смеси с коэффициентом α_Σ в камере сгорания (рис. 1, г, д).

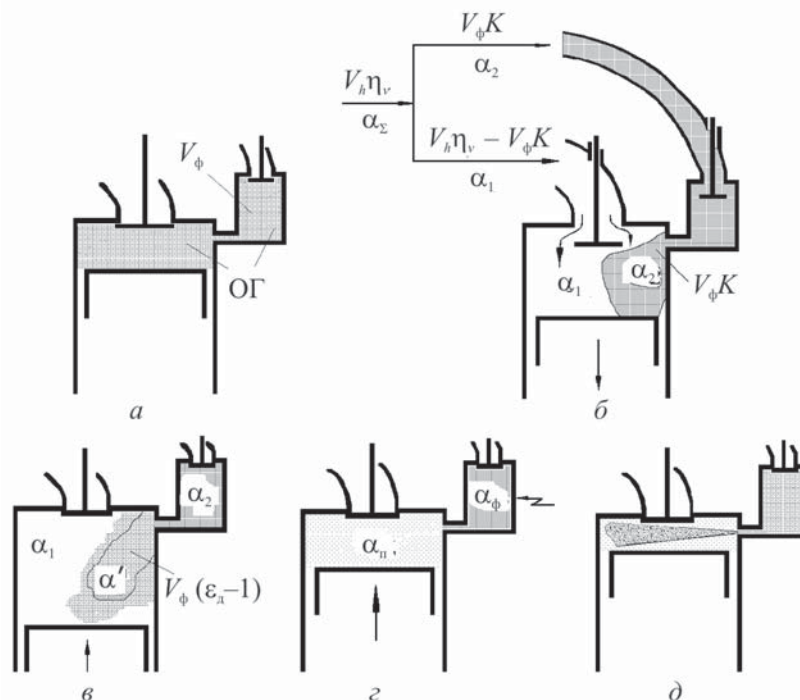


Рис. 1. Схема процесса смесеобразования в ДВС с продуваемой форкамерой:
а – конец выпуска; б – впуск свежего заряда; в – начало сжатия; г – зажигание в форкамере; д – воспламенение смеси в камере сгорания факелом активных продуктов сгорания форкамерной смеси

Модель для расчета смесеобразования в форкамерном ДВС

В основу разработки модели для расчета смесеобразования в ДВС с продуваемой форкамерой были положены следующие допущения:

- плотности чистых смесей и ОГ, участвующих в процессе смесеобразования, равны;
- в любой момент времени смесь, поступающая в форкамеру, и заряд смеси, поступающий в цилиндр, полностью и мгновенно перемешиваются с ОГ, находящимися в форкамере и цилиндре соответственно;
- между ОГ и чистыми смесями, участвующими в процессе смесеобразования, нет химического взаимодействия;
- в любой момент времени в объемах, участвующих в процессе смесеобразования, смеси однородны по коэффициенту избытка воздуха и полностью перемешаны с ОГ;
- к моменту зажигания объем форкамеры V_ϕ заполнен чистой смесью с коэффициентом α_ϕ постоянного состава и ОГ форкамеры, полностью перемешанными друг с другом, а объем сжатия в цилиндре заполнен перемешанными друг с другом чистой смесью с коэффициентом α_ϕ и ОГ цилиндра;
- закон смешения чистых топливовоздушных смесей и ОГ при смесеобразовании соответствует закону Дальтона для смешения газовых смесей при постоянной температуре;
- для ДВС с числом цилиндров более единицы расход смеси G_{b2} , поступающей в форкамеры, и расход смеси G_{b1} , поступающей в цилиндры, равномерно распределяются по форкамерам и цилиндрам соответственно.

В соответствии со схемой процесса смесеобразования (см. рис. 1) и принятыми допущениями расчетную модель смесеобразования в ДВС с продуваемой форкамерой можно представить в следующем виде (рис. 2).

Пусть в цилиндре перед впуском свежего заряда содержатся ОГ с коэффициентом γ_r , а в форкамере ОГ занимают объем V_ϕ . К моменту зажигания коэффициент ОГ в форкамере будет $\gamma_{r\phi}$, а в цилиндре – γ_{rc} . Коэффициент ОГ в смеси объемом $V_\phi(\epsilon_d - 1)$, которая поступит из цилиндра в форкамеру при сжатии, обозначим γ'_r .

Смесь с коэффициентом α' и с ОГ объемом $V_\phi(\epsilon_d - 1)$ войдет в форкамеру при сжатии и образует к моменту зажигания смесь постоянного состава. Другая часть смеси объемом $V_\phi K(1 - \Psi)$, где Ψ – коэффициент возврата, перемешивается со смесью с коэффициентом α_1 и ОГ, образуя в цилиндре к моменту зажигания чистую цилиндрическую смесь с коэффициентом α_ϕ , которая будет перемешана с ОГ цилиндра. Коэффициент Ψ является отношением объема смеси (смесь поступит из цилиндра в форкамеру при сжатии), к объему смеси $V_\phi K$, состоящей из чистой смеси с коэффициентом α_2 и ОГ форкамеры, поступившей в цилиндр из форкамеры при впуске.

К моменту зажигания объем цилиндра уменьшится до объема камеры сгорания V_ϕ/ϵ_d и будет заполнен гомогенной смесью, состоящей из чистой смеси с коэффициентом α_ϕ и ОГ. В форкамере от свечи зажигается смесь с коэффициентом α_ϕ . Продукты ее горения вызывают объемное воспламенение и сгорание смеси с коэффициентом α_ϕ в камере сгорания цилиндра.

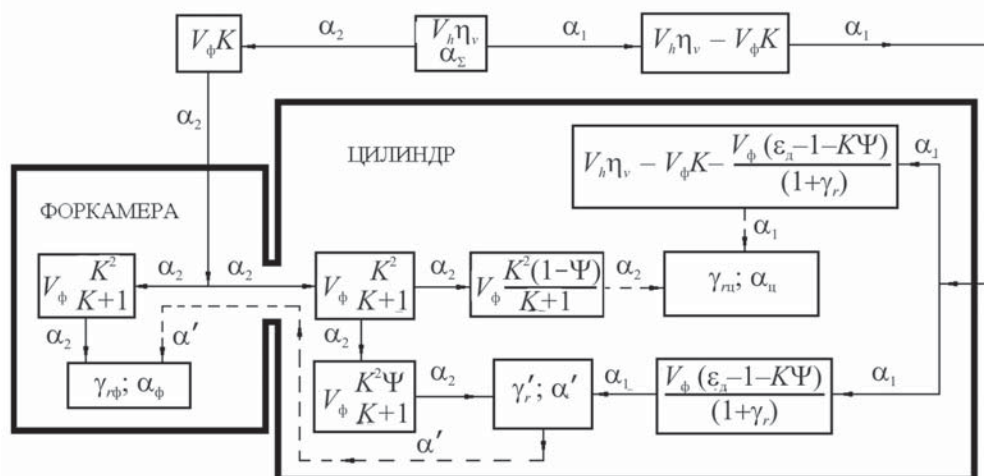


Рис. 2. Модель смесеобразования:

- — — — — движение чистых смесей при впуске;
- — — — — движение чистых смесей при сжатии

Расчет смесеобразования в ДВС с продуваемой форкамерой

Для расчета смесеобразования в ДВС с продуваемой форкамерой необходимо, чтобы были известны (заданы в том или ином виде), следующие конструктивные и режимные параметры ДВС: степень сжатия ДВС ε , отношение объема форкамеры к рабочему объему цилиндра $\Omega = V_\phi / V_h$ и угол опережения зажигания $\theta = f(n, \eta_v)$.

Коэффициент возврата Ψ можно вычислить по выражению

$$\Psi = \frac{(\varepsilon_d - 1)\delta}{K}, \quad (4)$$

где δ – часть объема $V_\phi(\varepsilon_d - 1)$ смеси, занятого чистой смесью с коэффициентом α_2 и ОГ, поступившими из форкамеры в цилиндр.

Коэффициент Ψ зависит от частоты вращения коленчатого вала ДВС n , коэффициента продувки форкамеры K , действительной степени сжатия ε_d , сопротивления сопловых каналов форкамеры, переменного направления и интенсивности движения заряда в цилиндре, конструктивных особенностей камеры сгорания и форкамеры, а также процессов тепло- и массообмена, происходящих в цилиндре и форкамере при впуске и сжатии. Коэффициент Ψ не зависит от составов смесей, участвующих в процессе смесеобразования, коэффициентов ОГ в этих смесях, а следовательно, и коэффициента наполнения η_v .

Действительная степень сжатия ε_d к моменту зажигания рассчитывается по известной формуле [2]:

$$\varepsilon_d = \frac{2\varepsilon}{\left[(1 - \cos \theta) + \frac{S}{8L}(1 - \cos 2\theta) \right] (\varepsilon - 1) + 2}, \quad (5)$$

где S – ход поршня; L – длина шатуна.

Коэффициент ОГ можно подсчитать по формуле [3]

$$\gamma_r = \frac{1}{\varepsilon - 1} \frac{p_r T_o}{p_o T_r \eta_v}, \quad (6)$$

где p_o и p_r – давление окружающей среды и давление ОГ; T_o и T_r – температуры окружающей среды и ОГ соответственно.

Уравнения для расчета параметров, участвующих в процессе смесеобразования, получают согласно закону Дальтона для смешения газовых смесей при постоянной температуре:

$$V_\Sigma C_\Sigma = \sum_{i=1}^m V_i C_i, \quad (7)$$

где V_Σ – общий объем смеси; C_Σ – общая концентрация смеси в объеме V_Σ ; V_i – i -й объем смеси, участвующей в процессе смешения; C_i – концентрация смеси в объеме V_i ; m – количество смесей, участвующих в процессе смешения.

С учетом того, что $\alpha_i = N / C_i$ (N – постоянная), формула (7) примет вид

$$\frac{V_\Sigma}{\alpha_\Sigma} = \sum_{i=1}^m \frac{V_i}{\alpha_i}. \quad (8)$$

В соответствии с формулой (8) и моделью смесеобразования получили систему уравнений для определения всех параметров (α_1 , α_2 , α_Σ , γ_r , γ_{rc} и $\gamma_{r\phi}$), участвующих в процессе смесеобразования ДВС с продуваемой форкамерой:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\alpha_2 (\alpha_1 - \alpha_\Sigma)}{\alpha_\Sigma (\alpha_1 - \alpha_2)} &= \frac{\Omega K}{\eta_v}; \\ \frac{\alpha_2 (\alpha_1 - \alpha_u)}{\alpha_1 (\alpha_u - \alpha_2)} &= \frac{\Omega K^2 (1 - \Psi)(1 + \gamma_r)}{(K + 1)[(\eta_v - \Omega K)(1 + \gamma_r) - \Omega(\varepsilon_d - 1 - \Psi K)]}; \\ \frac{\alpha_2 (\alpha_1 - \alpha_\phi)}{\alpha_1 (\alpha_\phi - \alpha_2)} &= \frac{K(1 + \gamma_r)(\Psi K + 1)}{(\varepsilon_d - 1 - \Psi K)(K + 1)}; \\ \frac{\alpha_\phi (\alpha_u - \alpha_\Sigma)}{\alpha_u (\alpha_\Sigma - \alpha_\phi)} &= \frac{\Omega \varepsilon_d (K + 1)(1 + \gamma_r)}{(1 + \gamma_{r\phi})\{ (K + 1)[(\eta_v - \Omega K)(1 + \gamma_r) - \Omega(\varepsilon_d - 1 - \Psi K)] + \Omega K^2 (1 - \Psi)(1 + \gamma_r) \}}; \\ \gamma_{r\phi} &= \frac{\varepsilon_d (K + 1)\gamma_r + (\Psi K + 1)(1 - K\gamma_r)}{\varepsilon_d (K + 1) - (\Psi K + 1)(1 - K\gamma_r)}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Для определения всех параметров, участвующих в процессе смесеобразования, необходимо экспериментально определить коэффициент Ψ для каждого режима работы ДВС по выведенному уравнению:

$$\Psi = \frac{\alpha_2(\alpha_1 - \alpha_\phi)(\varepsilon_d - 1)(K_1 + 1) - \alpha_1 K(\alpha_\phi - \alpha_2)(1 + \gamma_r)}{K[\alpha_1 K(\alpha_\phi - \alpha_2)(1 + \gamma_r) + \alpha_2(K + 1)(\alpha_1 - \alpha_\phi)]} \quad (10)$$

Многочисленными экспериментами, проведенными в бомбах, на одноцилиндровых отсеках и на полноразмерных двигателях, было установлено, что факелом активных продуктов неполного сгорания (CH , CH_3 и H), образующихся в форкамере при сжигании топливовоздушной смеси с коэффициентом $\alpha_\phi = 0,5 \dots 0,6$, можно очень быстро и эффективно провести процесс сгорания очень обедненного заряда в камере сгорания ДВС. Однако время τ существования частиц продуктов неполного сгорания очень мало, поэтому они должны быть очень быстро введены в заряд цилиндра (рис. 3) [4].

В соответствии с проведенными экспериментами для расчета смесеобразования в ДВС с продуваемой форкамерой приняли $\alpha_\phi = 0,55$.

Результаты экспериментальных исследований

Для выявления закономерностей изменения коэффициента Ψ провели исследования форкамерного ДВС ЗМЗ-4022.10 на моторном стенде с определением оптимальных параметров, участвующих в процессе смесеобразования при изменении величин η_v и n в широком диапазоне.

Основные технические характеристики ДВС ЗМЗ-4022.10 приведены ниже.

Методика определения оптимальных коэффициентов α_1 , α_2 и α_Σ на каждом режиме работы ДВС заключалась в получении регу-

лировочных характеристик по составу смеси с коэффициентом α_Σ путем изменения состава смеси с коэффициентом α_1 при различных постоянных составах смеси с коэффициентом α_2 и при оптимальных углах θ . Оптимальные составы смесей с коэффициентами α_1 и α_2 получали на пределе эффективного обеднения смеси с коэффициентом α_Σ , т. е. по минимальным значениям удельного эффективного расхода топлива g_e при минимальном содержании в ОГ оксида

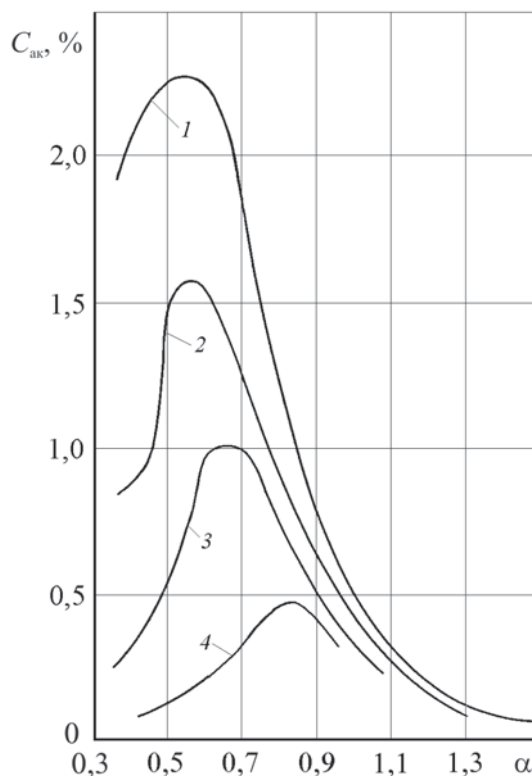


Рис. 3. Зависимость содержания активных продуктов

сгорания в смеси $C_{ак}$ от коэффициента α :
1 – при $\tau = 6,6$ мс; 2 – при $\tau = 13$ мс;
3 – при $\tau = 23$ мс; 4 – при $\tau = 40$ мс

Основные технические характеристики ДВС ЗМЗ-4022.10

Ход поршня S , м	$92 \cdot 10^{-3}$
Диаметр цилиндра D , м	$92 \cdot 10^{-3}$
Рабочий объем ДВС V_h , м ³	$2,445 \cdot 10^{-3}$
Длина шатуна L , м	0,168
Тип основной камеры сгорания	Плоскоовальная
Объем основных камер сгорания V_c , м ³	68,6; 69,0; 68,6; 69,0 $\cdot 10^{-6}$
Объем форкамер с сопловыми каналами V_ϕ , м ³	3,7; 4,0; 3,6; 3,7 $\cdot 10^{-6}$
Диаметр сопловых каналов в форкамере d_c , м	$3,5 \cdot 10^{-3}$
Количество сопловых каналов	2 (под углом 50°)
Степень сжатия ε	8,36

углерода (CO), углеводородов (C_xH_y) и оксидов азота (NO_x).

Изменение угла θ в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя n показано на рис. 4.

Зависимость действительной степени сжатия ϵ_d от угла θ , рассчитанной по формуле (5), показана на рис. 5.

По формуле (6) определили коэффициент ОГ γ_r в зависимости от коэффициента наполнения η_v (рис. 6).

На рис. 7 приведена зависимость коэффициента Ψ от относительного количества смеси K и частоты вращения ДВС. Для оптимальных смесей с коэффициентами α_1 , α_2 и $\alpha_\phi = 0,55$, поступающих соответственно в цилиндры и в форкамеры, а также образованных в форкамерах к моменту зажигания на каждом режиме работы ДВС, по формуле (10) были получены значения коэффициента Ψ (рис. 7), по которым определили его регрессионную зависимость

$$\Psi_p = \frac{(\epsilon_d - 1)}{K} e^{\frac{-6,52(K+1)}{K^2[1+0,181\ln(n \cdot 10^{-3})]}}$$

и формула $\alpha'_p = 1 - \Psi_p$.

В таблице показаны сравнительные результаты экспериментов и расчета при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ (параметры с индексом «р» получены расчетным путем).

Параметры смесеобразования, полученные экспериментально, отличаются от результатов расчета не более чем на $\pm 5\%$ и на других режимах работы форкамерного ДВС ЗМЗ-4022.10.

Заключение

На основании фундаментальных научных исследований, проведенных учеными ИХФ РАН, разработан малотоксичный и высокоэкономичный ДВС с продуваемой форкамерой, на котором проведены экспериментальные исследования. В процессе исследований разработаны:

1. Схема процесса смесеобразования при впуске заряда и сжатия.

2. Модель смесеобразования, согласно которой проведены расчетные исследования и установлено, что параметры смесеобразования, полученные при экспериментах, отличаются от результатов расчета не более чем на $\pm 5\%$.

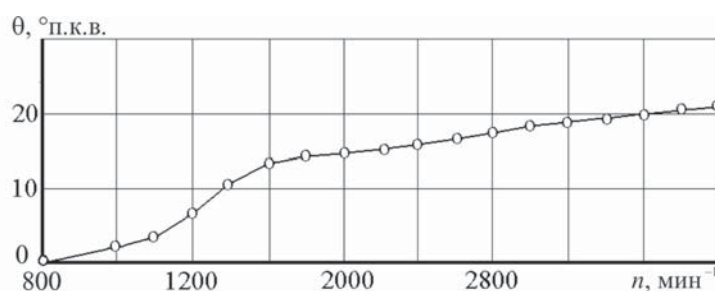


Рис. 4. Зависимость угла θ от частоты вращения n двигателя ЗМЗ-4022.10

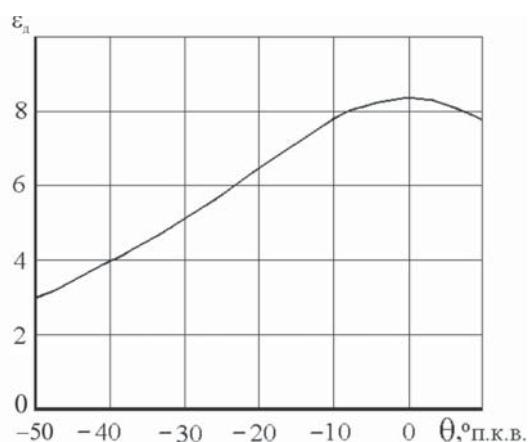


Рис. 5. Зависимость степени сжатия ϵ_d от угла θ при $\epsilon = 8,36$

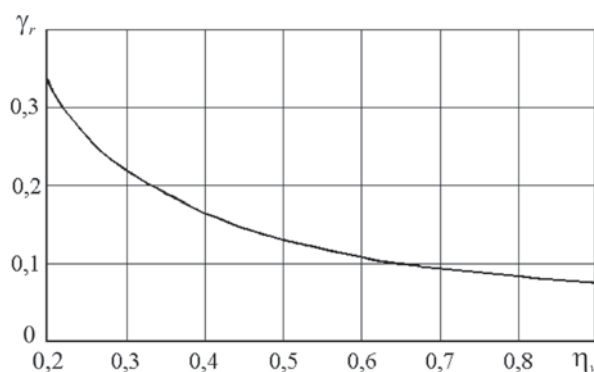


Рис. 6. Зависимость коэффициента γ_r от коэффициента η_v

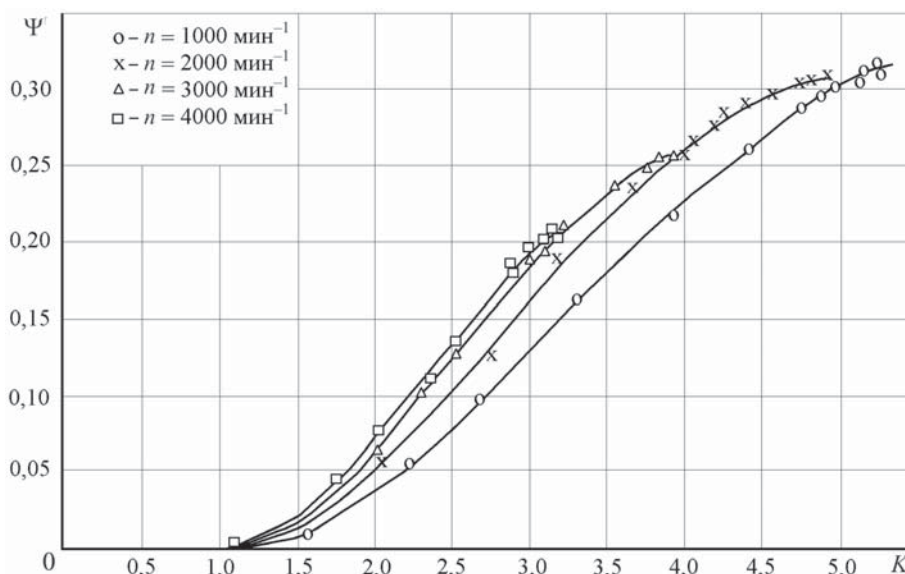


Рис. 7. Зависимость коэффициента Ψ от относительного количества смеси K и частоты вращения ДВС n

Сравнительные результаты экспериментального определения и расчета параметров смесеобразования при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ и $\theta = 14^\circ \text{ п.к.в.}$

$G_{\text{н2}},$ кг/ч	$G_{\text{н2}},$ кг/ч	η_v	K	α_2	α_{2p}	α_1	α_{1p}	α'	α'_p	$\alpha_{\text{ц}}$	$\alpha_{\text{цр}}$	α_{Σ}	$\alpha_{\Sigma p}$	γ_r	$\gamma_{\text{рф}}$	$\gamma_{\text{рфр}}$	$\gamma_{\text{ри}}$	$\gamma_{\text{рир}}$	Ψ	Ψ_p
60	4,28	0,344	3,996	0,20	0,204	1,46	1,455	0,748	0,741	1,121	1,126	1,007	1,011	0,191	0,206	0,207	0,190	0,193	0,250	0,259
70	4,71	0,401	4,398	0,22	0,218	1,52	1,527	0,711	0,714	1,212	1,213	1,088	1,088	0,163	0,182	0,182	0,165	0,165	0,290	0,286
75	4,90	0,430	4,575	0,22	0,225	1,57	1,558	0,711	0,704	1,248	1,250	1,121	1,123	0,152	0,172	0,173	0,155	0,155	0,285	0,296
80	4,95	0,458	4,622	0,23	0,226	1,56	1,562	0,695	0,701	1,277	1,269	1,149	1,143	0,143	0,166	0,166	0,145	0,145	0,310	0,299
85	5,11	0,487	4,771	0,23	0,231	1,59	1,588	0,695	0,694	1,301	1,301	1,173	1,173	0,134	0,158	0,158	0,137	0,137	0,304	0,306
90	5,15	0,516	4,809	0,23	0,232	1,60	1,591	0,694	0,692	1,320	1,317	1,193	1,191	0,127	0,153	0,153	0,129	0,129	0,305	0,308
95	5,18	0,544	4,837	0,23	0,232	1,60	1,593	0,694	0,691	1,331	1,330	1,208	1,207	0,120	0,148	0,148	0,120	0,123	0,305	0,309
100	5,29	0,573	4,939	0,23	0,235	1,62	1,612	0,693	0,687	1,351	1,355	1,228	1,231	0,114	0,142	0,143	0,117	0,117	0,301	0,313
105	5,29	0,602	4,939	0,23	0,235	1,62	1,608	0,693	0,687	1,364	1,363	1,242	1,242	0,108	0,139	0,139	0,111	0,111	0,303	0,313
110	5,09	0,630	4,753	0,23	0,227	1,57	1,567	0,691	0,687	1,350	1,342	1,237	1,231	0,104	0,138	0,137	0,106	0,107	0,313	0,305
115	4,78	0,659	4,463	0,22	0,215	1,51	1,511	0,703	0,710	1,316	1,309	1,208	1,208	0,099	0,136	0,135	0,102	0,102	0,302	0,290
120	4,37	0,687	4,080	0,20	0,198	1,44	1,441	0,731	0,735	1,263	1,261	1,175	1,173	0,095	0,134	0,134	0,098	0,098	0,270	0,265
125	3,96	0,716	3,698	0,18	0,181	1,37	1,365	0,768	0,766	1,208	1,206	1,133	1,131	0,091	0,131	0,131	0,095	0,095	0,232	0,234
130	3,43	0,745	3,203	0,16	0,159	1,25	1,256	0,813	0,816	1,118	1,122	1,071	1,063	0,087	0,129	0,129	0,091	0,091	0,185	0,184
135	2,89	0,773	2,698	0,14	0,139	1,14	1,142	0,872	0,876	1,034	1,035	1,006	0,990	0,084	0,127	0,127	0,088	0,088	0,126	0,124
142	2,20	0,813	2,054	0,12	0,118	1,03	1,035	0,936	0,953	0,955	0,957	0,937	0,924	0,079	0,126	0,125	0,084	0,084	0,056	0,047

Список литературы

- Кузнецов И.В. Экологические показатели серийного форкамерного ДВС: резервы улучшения // Автомобильная промышленность. 2005. № 4. С. 9 – 11.
- Автомобильные двигатели / под ред. М.С. Ховаха. М.: Машиностроение, 1977. – 280 с.
- Двигатели внутреннего сгорания / под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. 4-е изд. М.: Машиностроение, 1983. – 374 с.
- Гуссак Л.А. Новый принцип воспламенения и горения в двигателях // Изв. АН СССР. Сер. Энергетика и транспорт. 1965. № 4. С. 98 – 110.

Материал поступил в редакцию 24.03.2011

КУЗНЕЦОВ
Игорь Валентинович

E-mail: kiv39@mail.msiu.ru
Тел.: +7 (495) 675-62-42

Доктор технических наук, профессор кафедры автомобилей и двигателей ФГБОУ ВПО «МГИУ». Сфера научных интересов – теплотехника, двигатели внутреннего сгорания. Автор 65 научных работ, в том числе монографии и 33 изобретений.