

Мищенко Н.И., Химченко А.В., Крамарь С.Н., Юрченко Ю.В.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ В ДВУХТАКТНОМ БЕНЗИНОВОМ ДВИГАТЕЛЕ С РАЗДЕЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ СВЕЖЕГО ЗАРЯДА

Описана математическая модель процесса сгорания расслоенного заряда в двухтактном бензиновом двигателе. В основу модели положен метод расчета рабочего цикла проф. И. И. Вибе, в который внесены ряд уточнений, позволяющих учесть выгорание переменной по составу рабочей смеси. Рис. 3, ист. 5.

В транспортном двигателестроении доминируют четырехтактные ДВС с искровым зажиганием. Однако в последнее время наметилась устойчивая тенденция к возвращению двухтактных ДВС в качестве силового агрегата автомобилей и других транспортных средств. Это обусловлено такими их преимуществами перед четырехтактными, как высокие удельная мощность и механический КПД, хорошие массогабаритные показатели, простота конструкции, а также низкий уровень выбросов оксидов азота. Однако двухтактные двигатели имеют и существенные недостатки: высокие расходы топлива и значительные выбросы углеводородов, что является следствием потерь свежей смеси в процессе газообмена и высокой цикловой нестабильности сгорания.

Повышение топливной экономичности при одновременном снижении токсичности отработавших газов двухтактных бензиновых двигателей возможно путем организации рабочего процесса, обеспечивающего стабильное и эффективное сгорание обедненной топливовоздушной смеси, например, расслоением заряда. В настоящее время существует большое количество способов расслоения заряда в двухтактных двигателях [1, 2]. Особое место среди них занимает раздельная подача свежего заряда, при которой продувка цилиндра осуществляется бедной смесью или чистым воздухом, а после закрытия выпускных окон в зону свечи зажигания подается богатая смесь, вследствие чего в цилиндре двигателя образуется расслоенный заряд [3, 4]. Однако вопрос о влиянии раздельной подачи свежего заряда в двухтактных бензиновых двигателях на протекание процесса сгорания изучен недостаточно и требует проведения дополнительных исследовательских работ.

Целью работы является получение аналитических зависимостей для определения параметров процесса сгорания расслоенного заряда.

В основу математической модели процесса сгорания положен метод проф. И. И. Вибе [5], в котором внесен ряд изменений и уточнений, позволяющих учесть влияние выгорания переменной по составу рабочей смеси на показатели двигателя.

Было принято допущение, что в процессе сгорания состав рабочей смеси в зависимости от количества сгоревшего топлива изменяется по линейному закону (рис. 1), при этом в зоне свечи зажигания находится легковоспламеняемая смесь состава $\alpha = 0,7 \dots 0,9$, а в наиболее удаленных от свечи частях камеры сгорания – свежий заряд со средним коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1,5 \dots 2,5$. Таким образом, одна часть смеси X сгорает при $\alpha < 1$, а другая часть смеси Y – при $\alpha \geq 1$.

Также предполагается, что в момент подачи искры в зоне свечи зажигания находится богатая смесь состава α_1 , а в конце сгорания – бедная смесь с коэффициентом избытка воздуха α_2 .

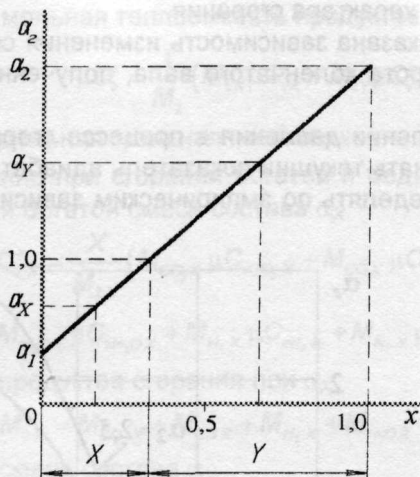


Рис. 1. Изменение состава смеси α_z в процессе сгорания относительно доли выгоревшего топлива x

Таким образом, можно записать приближенную формулу для определения текущего значения коэффициента избытка воздуха в процессе сгорания в зависимости от количества сгоревшего топлива

$$\alpha_z = \alpha_1 + (\alpha_2 - \alpha_1) \frac{x}{x_2}, \quad (1)$$

где α_1 — коэффициент избытка воздуха рабочей смеси в зоне свечи зажигания на момент подачи искры; α_2 — коэффициент избытка воздуха рабочей смеси в конце процесса сгорания; x — текущая доля выгоревшего топлива; x_2 — доля топлива, сгоревшего за весь процесс сгорания.

Тогда с учетом (1) и условия, что $\alpha_z = 1$ величины X и Y равны

$$X = \frac{1 - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} x_2; \quad Y = x_2 \left(1 - \frac{1 - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} \right). \quad (2)$$

Очевидно, что $X + Y = x_2$.

Коэффициенты избытка воздуха α_x и α_y имеют осредненные значения состава смеси на соответствующих участках (см. рис. 1)

$$\alpha_x = \alpha_1 + \frac{1 + \alpha_1}{2}; \quad \alpha_y = 1 + \frac{\alpha_2 - 1}{2}. \quad (3)$$

В начале процесса сгорания выгорает X частей смеси состава α_x и образуется продуктов сгорания в количестве $M_{2X} = XM_2$, а оставшаяся часть $M_{2Y} = YM_2$ представляет собой продукты сгорания смеси с коэффициентом избытка воздуха α_y .

Согласно методики проф. И. И. Вибе, текущая доля выгоревшего топлива

$$x = 1 - e^{-C1 \left(\frac{\Phi_2}{\Phi_2} \right)^{m+1}}, \quad (4)$$

где $C1 = \ln(1 - x_2)$ — константа;

Φ_2 — продолжительность сгорания в град. п. к. в.;

Φ_2 — угол поворота коленчатого вала двигателя от момента подачи искры в град п. к. в.;

m – показатель характера сгорания.

На рис. 2 показана зависимость изменения состава смеси в процессе сгорания от угла поворота коленчатого вала, полученная при совместном решении уравнений (1) и (4).

При определении давления в процессе сгорания по методу проф. И. И. Вибге необходимо знать текущий показатель адиабаты рабочего тела, который автор предлагает определять по эмпирическим зависимостям для продуктов сгора-

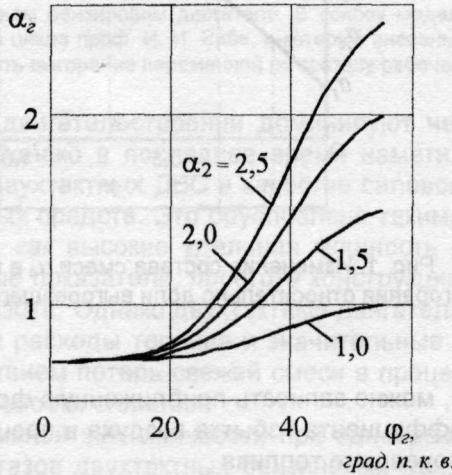


Рис. 2. Изменение состава смеси α_r в процессе сгорания в зависимости от угла φ_r поворота коленчатого вала ($\alpha_1 = 0,7$)

ния свежей смеси (остаточные газы не учитываются). Однако в двухтактных двигателях с кривошипно-камерной продувкой доля остаточных газов велика, и при расчете показателя адиабаты ими нельзя пренебрегать. Как известно, показатель адиабаты зависит от состава и температуры рабочего тела и для условий двигателя может быть выражен через удельную мольную теплоемкость рабочей смеси в процессе сгорания

$$\kappa_a = 1 + \frac{8314,3}{\mu C'_{v_a}}$$

где $\mu C'_{v_a}$ – удельная мольная теплоемкость рабочей смеси в процессе сгорания.

Так как количество сгоревшего топлива в процессе сгорания непрерывно изменяется, тогда текущая удельная мольная теплоемкость рабочей смеси в процессе сгорания

$$\mu C'_{v_a} = \frac{1}{M_{1a} + M_{2a} + M_r} (M_{1a} \mu C_v + M_{2a} \mu C_v'' + M_r \mu C_v''), \quad (5)$$

где M_{1a} – текущее количество молей свежей смеси, находящейся в цилиндре в процессе сгорания

$$M_{1a} = (1 - x) M_1; \quad (6)$$

M_{2a} – текущее количество молей продуктов сгорания, образующихся в цилиндре в процессе сгорания

$$M_{2a} = x M_2; \quad (7)$$

μC_v – удельная мольная теплоемкость свежей смеси;

$\mu C_v''$ – средняя удельная мольная теплоемкость продуктов сгорания

$$\mu C_v'' = \frac{1}{M_2} (M_{2X} \mu C_{vX}'' + M_{2Y} \mu C_{vY}''); \quad (8)$$

$\mu C_{vX}''$ и $\mu C_{vY}''$ – средняя удельная мольная теплоемкость продуктов сгорания, образовавшихся соответственно при сгорании богатой и бедной части расслоенного заряда. Так, при сгорании богатой смеси состава α_X

$$\mu C_{vX}'' = \frac{X}{M_{2X}} (M_{CO_2X} \mu C_{vCO_2X} + M_{COX} \mu C_{vCOX} + M_{H_2OX} \mu C_{vH_2OX} + M_{H_2X} \mu C_{vH_2X} + M_{N_2X} \mu C_{vN_2X}), \quad (9)$$

где M_{2X} – количество молей продуктов сгорания при α_X

$$M_{2X} = M_{CO_2X} + M_{COX} + M_{H_2X} + M_{H_2OX} + M_{N_2X}. \quad (10)$$

При сгорании бедной смеси состава α_Y

$$\mu C_{vY}'' = \frac{Y}{M_{2Y}} (M_{CO_2Y} \mu C_{vCO_2Y} + M_{H_2OY} \mu C_{vH_2OY} + M_{N_2Y} \mu C_{vN_2Y} + M_{O_2Y} \mu C_{vO_2Y}), \quad (11)$$

где M_{2Y} – количество молей продуктов сгорания при α_Y

$$M_{2Y} = M_{CO_2Y} + M_{H_2OY} + M_{N_2Y} + M_{O_2Y}. \quad (12)$$

В формулах (9) и (10) индекс X относится к отдельным составляющим продуктов сгорания и их теплоемкостям для случая неполного сгорания топлива, а в формулах (11) и (12) индекс Y – к соответствующим компонентам и теплоемкостям при полном сгорании топлива.

Очевидно общее количество молей продуктов сгорания

$$M_2 = M_{2X} + M_{2Y}. \quad (13)$$

Средняя молекулярная масса рабочей смеси

$$\mu = \frac{1}{M_1 + M_2} (\mu_1 M_1 + \mu_2 M_2), \quad (14)$$

где μ_1, μ_2 – молекулярные массы соответственно свежей смеси и продуктов сгорания.

Молекулярная масса свежей смеси

$$\mu_1 = \frac{1}{M_1} (M_{N_2} \mu_{N_2} + M_{O_2} \mu_{O_2} + 1). \quad (15)$$

Молекулярная масса продуктов сгорания

$$\mu_2 = \frac{1}{M_2} \left[(M_{CO_2X} + M_{CO_2Y}) \mu_{CO_2} + M_{COX} \mu_{CO} + (M_{H_2OX} + M_{H_2OY}) \mu_{H_2O} + M_{H_2X} \mu_{H_2} + (M_{N_2X} + M_{N_2Y}) \mu_{N_2} + M_{O_2Y} \mu_{O_2} \right]. \quad (16)$$

В формулах (15) и (16) $\mu_{CO_2}, \mu_{CO}, \mu_{H_2O}, \mu_{H_2}, \mu_{N_2}, \mu_{O_2}$ – молекулярные массы

Характер изменения показателя адиабаты k_2 в зависимости от времени сгорания показан на рис. 3.

Выводы. Разработанная математическая модель процесса сгорания в двигателе с раздельной подачей свежего заряда позволяет учесть сгорание расслоенного заряда.

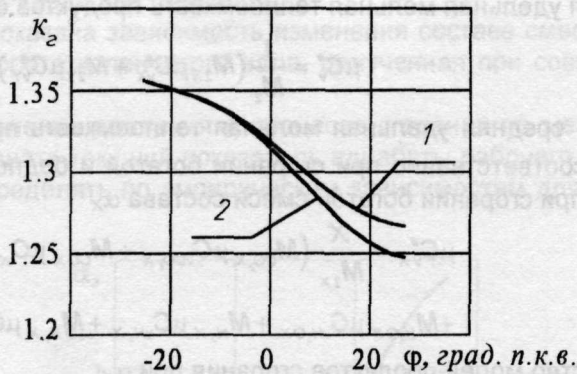


Рис. 3. Изменение показателя адиабаты рабочей смеси κ_2 в процессе сгорания:
 1 – для однородной смеси, $\alpha = 0,7$; 2 – для расслоенной рабочей смеси,
 $\alpha_2 =$ от 0,7 до 2,5 соответствующих компонентов

Литература

1. Заявка 4030116 ФРГ, МПК {5} F 02 B 25/14. Zweitaktbrennkraftmaschine / Korpke Gunter. N 4030116.8; Заявл. 23.09.90; Опубл. 26.03.92.
2. Iida Shinichiro. Двухтактный двигатель с расслоенным зарядом и разделенной кривошипно-камерной продувкой // Nippon kogyo daigaku kenkyu hokoku=Rept Res. Nippon Inst. Technol.. 1997. 27, N 2, с. 169-172.
3. Пат. 595199 Австралия, МПК {4} F 02 B 023/10, F 02 B 017/00. Two stroke fuel injected engine with charge stratification / Orbital Engine CO. Proprietary Ltd.. N 58035/86; Заявл. 24.05.85; Опубл. 29.03.90.
4. Kuntscher V., Singer A. Kaul H. Die weiterentwicklung des Zwetakt-Ottomotors durch Gemischeinspritzung // Wissenschaftliche Beitrage/Ingenieurhochschule. Zwickau – 1988. – 14. – № 3. – S.17 – 24.
5. Вибѣ И. И. Новое о рабочем цикле двигателей. – М. – Свердловск: МАШГИЗ, 1962. – 272 с.

УДК 625.711.1

Крейсман Э.А., Гирин В.С., Жуков С.А.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЫПУСКАЮЩИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЗАВОДОВ УКРАИНЫ

Приведен обзор автомобильно-строительной промышленности Украины. Проанализированы перспективы дальнейшего развития.

Развитие отечественного автомобилестроения – приоритетное направление в национальной экономике, оно регулируется Законом Украины «О внесении изменений в некоторые законодательные акты Украины о государственной поддержке автомобилестроительной промышленности Украины».

В настоящее время в Украине действуют следующие выпускающие автозаводы:

- Львовский по выпуску автобусов (ЛАЗ);
- Кременчугский по выпуску грузовых автомобилей (КраЗ);
- Запорожский по выпуску легковых автомобилей (ЗАЗ);
- Луцкий (ЛуАЗ);