

РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕСГОРЕВШИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ГАЗОБАЛЛОННОГО АВТОМОБИЛЯ

© 2014 А.П. Шайкин, П.В. Ивашин, И.Р. Галиев

Тольяттинский государственный университет

Поступила в редакцию 13.01.2014

В статье приводится метод расчета концентрации несгоревших углеводородов в отработавших газах газобаллонного автомобиля. Показано, что предлагаемый метод учитывает влияние химического состава топлива, скорости и ширины фронта пламени на эмиссию несгоревших углеводородов.

Ключевые слова: концентрация несгоревших углеводородов, скорость, ширина, распространение пламени, зонд.

Известно, что несгоревшие углеводороды (СН), входящие в состав отработавших газов (ОГ) автомобилей, способствуют возникновению у человека респираторных заболеваний [1, 2]. Поскольку бензиновые двигатели достигли предела своего экологического совершенства, то все больше производителей обращают внимание на двигатели, использующие в качестве топлива сжатый природный газ [3] и его смесь с водородом [4 – 6]. Анализ современных методов расчета СН в ОГ газобаллонных автомобилей [7, 8], в которых не учитываются характеристики распространения пламени, выявил сильную разницу (более 50%) между расчетными и экспериментальными значениями. Поэтому методы расчета концентрации СН требуют серьезной доработки.

Целью работы является создание метода расчета концентрации СН в ОГ газобаллонного автомобиля, основанного на использовании характеристик пламени.

Расчетную оценку СН с учетом характеристик распространения пламени было предложено проводить с использованием величины тепловыделения при протекании химических реакций. Поскольку известно, что основной причиной возникновения СН в цилиндре двигателя является локальное гашение пламени [9 – 11], которое, в общем случае, происходит вследствие снижения скорости химических реакций во фронте пламени, способствующее расширению его протяженности и снижению скорости распространения пламени, что приводит к убыли тепловыделения. При этом увеличивается объем СН в пристеноч-

ных слоях за счет увеличения поверхности камеры сгорания при завершении процесса сгорания. Таким образом, очевидно наличие связи эмиссии СН с величиной тепловыделения: чем она выше, тем интенсивнее протекает процесс горения и тем меньше зон гашения пламени и, следовательно, СН. При этом необходим учет химического состава топлива: доли в нем углерода, водорода и кислорода. Поскольку именно углерод с водородом участвуют во всех процессах образования и развития СН, а кислород способствует окислению, и как следствие, снижению СН. Таким образом, произвести оценку концентрации СН можно по формуле:

$$CH = Rs \cdot Th, \quad (1)$$

где Rs – эмпирический коэффициент [ppm·МДж/кг];
 Th – расчетный параметр [кг/МДж].

$$Th_1 = \frac{g_C \cdot g_H}{g_O \cdot Q_{т.в.}} = \frac{Fl \cdot t_{c2}}{t_{P \max} \cdot Da}, \quad (2)$$

$$Fl = \frac{g_C \cdot g_H}{g_O \cdot H_{u \text{ см}}}, \quad (3)$$

$$t_c = \frac{\delta}{U_t}, \quad (4)$$

$$Da = \frac{\delta \cdot U_n}{U_t \cdot \delta_n}, \quad (5)$$

где g_C – массовая доля углерода в топливовоздушной смеси; g_H – массовая доля водорода в топливовоздушной смеси; g_O – массовая доля кислорода в топливовоздушной смеси; $Q_{т.в.}$ – удельное тепловыделение при протекании химических реакций [МДж/кг]; Fl – показатель состава топлива [кг/МДж]; $t_{P \max}$ – интервал времени от начала

Шайкин Александр Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры “Энергетические машины и системы управления”. E-mail: td@tltsu.ru

Ивашин Павел Валентинович, кандидат технических наук, доцент кафедры “Энергетические машины и системы управления”. E-mail: ivashinpv@rambler.ru

*Галиев Ильдар Ринатович, аспирант.
E-mail: sbs777@yandex.ru*

зажигания до возникновения в цилиндре двигателя максимума давления [с]; t_{c2} – продолжительность сигнала импульса ионного тока на ионизационном датчике (ИД), удаленным от свечи зажигания [с]; Da – критерий Дамкёлера (значение принималось равным 100 – величине, определенной учеными технического университета Эйнховена [12] для газопоршневого двигателя, исследуемого в условиях аналогичным нашим).

Учитывая ранее [13] экспериментально найденную связь характеристик второй фазы сгорания с характеристиками первой фазы, параметр Th был представлен следующим образом:

$$Th_2 = \frac{Fl \cdot t_{c2}}{1,36 \cdot t_2 \cdot Da}, \quad (6)$$

$$Th_3 = \frac{Fl \cdot (t_{c1} \cdot 0,33 + 0,33)}{1,36 \cdot (t_1 \cdot 2,94 + 2,94) \cdot Da}, \quad (7)$$

где t_{c1} – длительность сигнала импульса ионного тока на ИД, расположенном у свечи зажигания [с]; t_1 – промежуток времени от начала зажигания до возникновения импульса ионного тока на ИД, расположенном у свечи зажигания [с]; t_2 – промежуток времени от начала зажигания до возникновения импульса ионного тока на ИД, удаленном от свечи зажигания [с].

Эмпирический коэффициент Rs находится по формуле:

$$Rs = \frac{CH_{(\alpha, r_{H_2})}}{Th_{(\alpha, r_{H_2})}}, \quad (8)$$

где $CH_{(\alpha, r_{H_2})}$ – концентрация несгоревших углеводородов, полученная экспериментально [ppm];

$Th_{(\alpha, r_{H_2})}$ – расчетное значение параметра Th [кг/МДж].

В результате анализа данных, полученных по формуле (8) было выявлено, что коэффициент Rs на всех режимах испытаний изменялся не более чем на 7% и был равен $15 \cdot 10^7$ ppm·МДж/кг. Данный факт говорит о постоянстве Rs для данного вида топлива и возможности применения одного значения Rs для расчета СН, при различных коэффициентах избытка воздуха и добавках водорода.

Концентрации СН, полученные экспериментально и расчетным путем при разных коэффициентах избытка воздуха и долях водорода в топливе представлены на рис. 1. Экспериментальная установка и методика проведения испытаний представлены в [14].

Из рисунков видно, что расчетная концентрация СН практически идентична концентрации СН, полученной экспериментально, при варьировании коэффициентом избытка воздуха и долей водорода в топливе. Следовательно, предложенный метод расчета СН, основанный на использовании химического состава топлива и характеристик распространения пламени (скорости и ширины), может быть использован для прогнозирования и расчета содержания СН в ОГ газобаллонного автомобиля.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП “Научные и педагогические кадры инновационной России” на 2009 – 2013 годы ГК № 14.B37.21.0152 и ГК № 14.B37.21.0308.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кульчицкий А.Р.* Токсичность поршневых ДВС. Образование вредных веществ при горении топлив: учебное пособие. Владимир. 2010. 80 с.
2. *Корчагин В.А., Филоненко Ю.А.* Экологические аспекты автомобильного транспорта. М.: МНЭПУ. 1997. 100 с.
3. *Гайнуллин Ф.Г., Гриценко А.И.* Природный газ как моторное топливо на транспорте. М.: Недра. 1986. 255 с.
4. *Ma F., Naeve N., Wang M.* Hydrogen-enriched compressed natural gas as a fuel for engines // *Natural Gas*. 2010. P. 606.
5. *Karner D., Francfort J.* High-percentage hydrogen/CNG blend Ford F-150 operating summary // *Technical report Idaho national engineering and environmental laboratory*. 2003.
6. *Iacobazzi A.* Use of blends of hydrogen and natural gas in urban vehicles in the transition towards an hydrogen economy // *WIH*. 2007.
7. *Arsie I., Pianese C., Rizzo G.* Models for the prediction of performance and emission in a spark ignition engine – a sequentially structured approach // *SAE paper*. 1988. № 980779.
8. *Spessa E., D’Errico G., Misul D.* Integrated fluid dynamic modeling and combustion diagnostics of a multivalve S.I. engine under gasoline and CNG operations // *ICE 2003. SAE International conference on internal combustion engine*. 2003. № 2003-01-18.
9. *Heywood J.B.* *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw-Hill. 1988. 931 p.
10. *Варнац Ю., Маас У., Диббл Р.* Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2003. 352 с.
11. *Sher E.* *Handbook of air pollution from internal combustion engine. Pollutant formation and control*. New York : Academic press. 1998. 665 p.
12. *Doosje E.* *Limits of mixture dilution in gas engines* // *Doctoral thesis*. 2010.
13. *Шайкин А.П., Ивахин П.В., Галиев И.Р.* Взаимосвязь характеристик распространения пламени в объемах камеры сгорания у свечи зажигания и в наиболее удаленной от неё зоне в газовом ДВС // *Вектор на-*

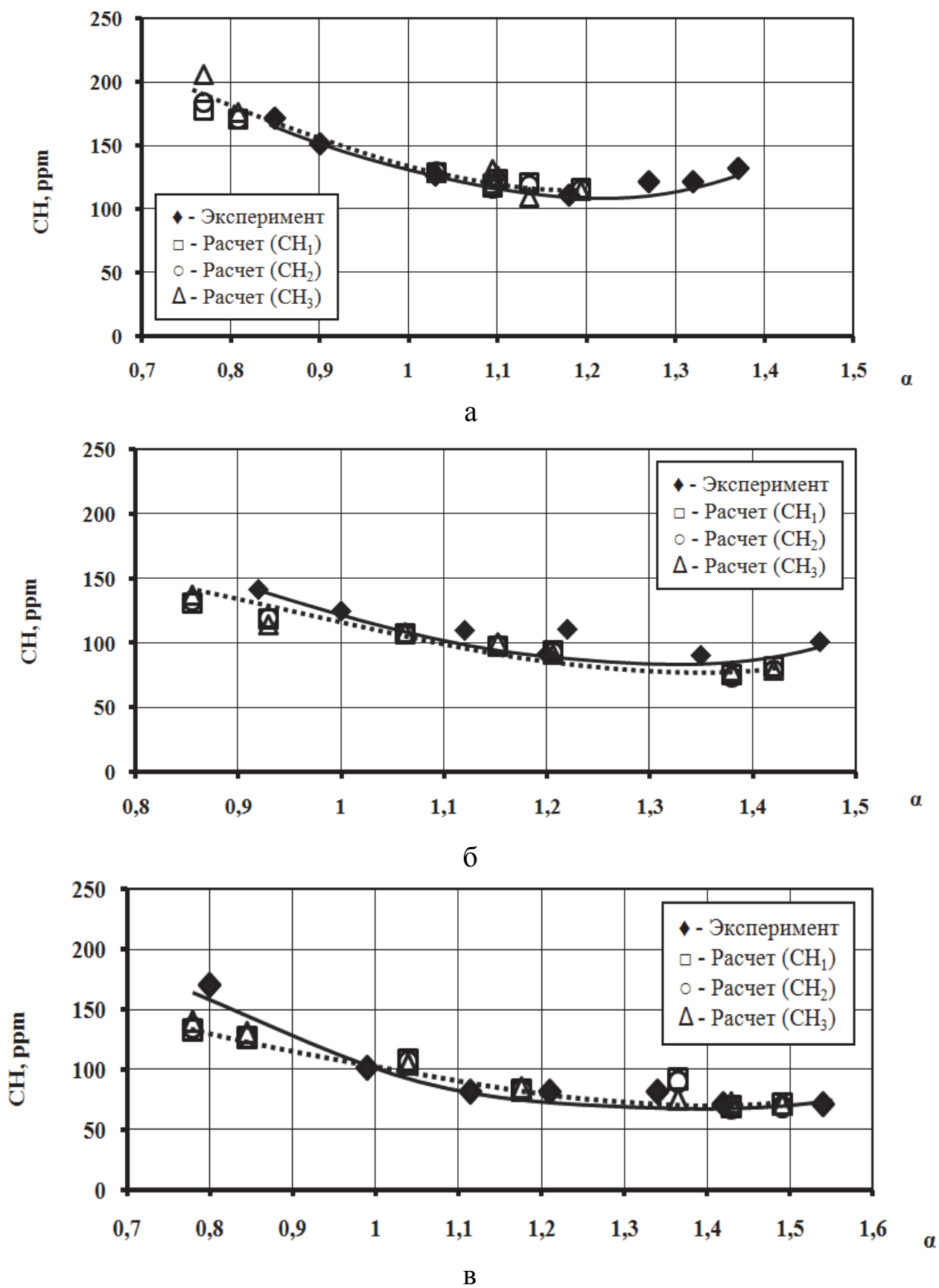


Рис. 1. Концентрации CH, полученные экспериментально и расчетным путем:
 а - $r_{H_2} = 0\%$; б - $r_{H_2} = 47\%$; в - $r_{H_2} = 58\%$

уки ТГУ. 2012. №4 (22). С. 209 – 215.
14. *Шайкин А.П., Ивашин П.В., Галиев И.Р.* Влияние скорости распространения и ионизации пламени на

концентрацию несгоревших углеводородов в газовом ДВС // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* 2013. №4. С. 248 – 252.

CALCULATE THE CONCENTRATION OF UNBURNT HYDROCARBONS IN THE EXHAUST GAS NATURAL GAS VEHICLES

© 2014 A.P. Shaykin, P.V. Ivashin, I.R. Galiev

Togliatti State University, Togliatti

The article provides a method for calculating the concentration of unburnt hydrocarbons in the exhaust gas-cylinder car. It is shown that the proposed method takes into account the influence of chemical and physical properties of the fuel, speed and width of the flame front on the emissions unburned hydrocarbons.
Key words: concentration of unburned hydrocarbons, speed, width, distribution flame, probe.

Alexander Shaikin, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Energy Machines and Control Systems Department.

E-mail: td@tltsu.ru

Pavel Ivashin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Energy Machines and Control Systems Department. E-mail: ivashinpv@rambler.ru

Galiev Ildar Rinatovich, Graduate Student.

E-mail: sbs777@yandex.ru