

ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БЕНЗОВОДОРОДОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ИСКРОВОМ ЗАЖИГАНИЕМ

©2016 А.П. Шайкин, П.В. Ивашин, А.Д. Дерячев

Тольяттинский государственный университет

DEFINING NITRIC OXIDE CONCENTRATION WHILE USING OF GASOLINE-HYDROGEN-AIR MIXTURE IN SPARK-IGNITED ENGINES

Shaykin A.P., Ivashin P.V., Derjachev A.D. (Togliatty State University, Togliatty, Russian Federation)

On the basis of experiments have been selected parameters, which allow us to develop an empirical model for propagation of NO_x concentration with hydrogen addition in gasoline-air mixture at structural change, operating and adjusting operating parameters of the internal combustion engine with SI. The approbation of the model has been obtained on the engine VAZ-1118.

К настоящему времени слабо исследован вопрос об особенностях образования окислов азота при сгорании топливно-воздушных смесей (ТВС), насыщенных водородом, отсутствует апробированная методика расчётного определения их концентрации в отработавших газах (ОГ) [1]. Применение теории Я.Б. Зельдовича [2] к двигателям внутреннего сгорания (ДВС) требует уточнений, особенно учитывая явную нестационарность сгорания ТВС с добавками водорода.

В связи с этим целью работы является получение эмпирической модели для расчёта концентрации оксидов азота [NO_x] при горении бензовоздушной смеси при добавлении в неё водорода в ДВС с искровым зажиганием.

Из анализа отечественных и зарубежных работ определены основные факторы, влияющие на максимальную температуру сгорания, концентрацию свободного кислорода и время пребывания азота и кислорода в зоне высоких температур [2,3]. Предложена зависимость:

$$[NO_x] = f \left[\frac{\alpha^{0.5}}{\alpha^k}; \tau_{Pz}; \theta_{o.z.}; P_z; (V_a - V_{Pz}); U_{cp}; \delta_{зТГ} \right]$$

или

$$[NO_x] = f(K), \quad (1)$$

где α – коэффициент избытка воздуха; τ_{Pz} – продолжительность основной фазы сгорания; $\theta_{o.z.}$ – угол опережения зажигания; P_z и V_{Pz} – максимальное давление сгорания и объём смеси при максимуме давления; U_{cp} – средняя скорость распространения пламени; $\delta_{зТГ}$ – ширина зоны турбулентного горения;

K – обобщённый параметр, подлежащий определению.

Для определения параметра K проведены экспериментальные исследования, на моторной установке УИТ-85 и двигателе ВАЗ-1118 [3,4]. Выявлено, что характеристики распространения пламени в значительной степени определяют максимальное индикаторное давление и продолжительность основной фазы сгорания. Поэтому среднюю скорость распространения пламени и ширину зоны турбулентного горения, представленные в [3,4], из зависимости (1) можно исключить. Также выявлено, что при работе на богатой топливовоздушной смеси ($\alpha < 1$) максимальное давление сгорания и продолжительность основной фазы сгорания влияют незначительно на концентрацию оксидов азота, что подтверждается положением теории Я.Б. Зельдовича [2].

На основе этого получен безразмерный комплекс параметров K , учитывающий влияние всех рассмотренных факторов (см. (1)):

для зоны бедных смесей $\alpha > 1$:

$$K = \frac{1}{\alpha^{2/3}} \cdot \left(\frac{\tau_{180} - \tau_{Pz}}{\tau_{180}} \right) \cdot \left(\frac{180 - \theta_{o.z.}}{180} \right) \cdot \left(\frac{P_z - P_{cp}}{P_z} \right) \cdot \left(\frac{V_a - V_{Pz}}{V_a} \right),$$

для зоны богатых смесей $\alpha \leq 1$:

$$K = \frac{1}{\alpha^{2/3}} \cdot \left(\frac{180 - \theta_{o.z.}}{180} \right) \cdot \left(\frac{V_a - V_{Pz}}{V_a} \right),$$

где τ_{180} – длительность одного такта; P_{cp} – среднее индикаторное давление; V_a – полный объём цилиндра.

При добавлении водорода в ТВС увеличивается максимальная температура сго-

рания. Температура также зависит от угла опережения зажигания, давления сгорания, объёма ТВС и продолжительности процесса сгорания, время которого учитывается в предложенном выражении. Полный объём цилиндра и объём горючей смеси над поршнем при максимальном давлении сгорания учитывают степень сжатия, параметры камеры сгорания и температуру цикла. Продолжительность процесса сгорания в значительной степени определяется частотой вращения коленчатого вала. В данной зависимости она выражена через время одного такта, где также учтена величина хода поршня. Максимальная температура также учитывается моментом зажигания рабочего заряда, который, как известно, влияет на выбросы NO_x в ОГ. Количество свободного кислорода в ТВС отражается в соотношении коэффициента избытка воздуха.

На рис. 1 представлен график зависимости концентрации NO_x от параметра K , для результатов, полученных на УИТ-85.

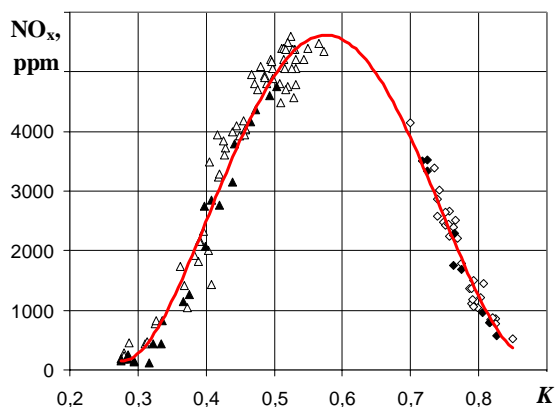


Рис. 1. Зависимость концентрации оксидов азота от безразмерного параметра K ($5 \text{ гр.} < \theta_{\text{о.з.}} < 30 \text{ гр.}$, $0,8 < \alpha < 1,9$, $0 < g_{H_2} < 11\%$, подогрев ТВС = var):
 Δ - $n=600 \text{ мин}^{-1}$, бедная смесь; \diamond - $n=600 \text{ мин}^{-1}$, богатая смесь; \blacktriangle - $n=900 \text{ мин}^{-1}$, бедная смесь; \blacklozenge - $n=900 \text{ мин}^{-1}$, богатая смесь

Используя комплекс параметров K концентрацию оксидов азота можно представить в виде полинома 4-ого порядка:

$$[NO_x] = A \cdot K^4 + B \cdot K^3 + C \cdot K^2 + D \cdot K + E,$$

где A, B, C, D, E – эмпирические коэффициенты.

Применяя метод наименьших квадратов, получены следующие эмпирические коэффициенты:

$$A=690500; B=-1587900; C=1247000; D=-384000; E=40520.$$

Полученная модель была апробирована на двигателе ВАЗ-1118.

Представленные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Проведён анализ значимых факторов, влияющих на образование оксидов азота при сгорании ТВС с добавками водорода, который показал, что максимальное давление, продолжительность и объём смеси при завершении основной фазы сгорания являются основными параметрами сгорания, определяющими температуру и время пребывания азота и кислорода в зоне высоких температур.

2. Получена эмпирическая модель на основе комплекса параметров K позволяющая оценивать концентрацию NO_x в ОГ с учётом конструктивных, регулировочных параметров двигателя, режима его работы и, что особенно важно, с учётом добавок водорода в ТВС. Проведена апробация модели на двигателе ВАЗ-1118.

Данная работа выполнена в рамках Государственного задания, проект №394.

Библиографический список

1. Mustafi N.N., Miraglia Y.C., Raine R.R., Bansal P.K., Elder S.T. Spark-Ignition Engine Performance with 'Powergas' Fuel: A Comparison with Gasoline and Natural Gas Fuel // The Science and Technology of Fuel and Energy. 2006. vol. 85. P. 1605–1612.
2. Зельдович Я.Б., Садовников П.Я., Франк-Каменецкий Д.А. Окисление азота при горении. М-Л: Изд. АН СССР. 1947. 148 с.
3. Дерячев А.Д. Эмпирическая модель оценки концентрации оксидов азота при добавке водорода в ТВС двигателей с искровым зажиганием // Автореф. дис. к.т.н. – Волгоград. 2015. 16 с.
4. Дерячев А.Д. Взаимосвязь ширины зоны горения с ионным током и скоростью распространения пламени в условиях двигателя с искровым зажиганием / Дерячев А.Д., Шайкин А.П. // Вектор науки ТГУ. 2014. №3. С. 82-86.