

УДК 629.424: 628.43.6

А.П. Кравченко, профессор, д-р техн. наук,

Е.С. Ноженко, ст. преподаватель, канд. техн. наук

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ «УСЛОВНОЙ» ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ПРЕДПЛАМЕННЫХ РЕАКЦИЙ ОЗОНИРОВАННОГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

В статье предложена методика по определению «условной» энергии активации дизельного топлива при его озонировании, что позволит теоретически учесть изменение химической структуры топлива при его озонировании. Предложенная методика может быть использована при описании процесса горения альтернативного топлива и топлива, имеющего в своем составе катализаторы горения.

Ключевые слова: дизель, топливо, озон, «условная» энергия активации, предпламенные реакции.

Постановка проблемы. Для моделирования рабочего процесса дизеля, в соответствии с предпосылками озонирования, описанными в [1, 2], необходимо определение величины «условной» энергии активации озонированного топлива.

Анализ последних исследований и публикаций. Существующие методики по ее определению сводятся к широкомасштабным исследованиям, в основе которых лежит теория теплового взрыва и уравнения химической кинетики, при проведении которых требуется высокоточное оборудование для фиксации периодов задержки воспламенения, по которым определяется «условная» энергия активации [3, 4]. Исследования проводимые по таким методикам используют эмпирические уравнения пересчета, а момент воспламенения фиксируется наблюдателем зрительно по получаемым термограммам, что вносит погрешность в результаты исследований. В зависимости от различных условий протекания процесса сгорания продолжительность периода задержки воспламенения составляет 0,0005-0,0002 с [3].

Цель статьи. В связи с этим, ввиду отсутствия оборудования, удовлетворяющего требованиям точности по представленным методикам, с целью снижения временных и материальных затрат на получение результатов для проведения исследований разработана методика экспериментального определения «условной» энергии активации, в основу которой также была принята теория теплового самовоспламенения [5].

Материалы и результаты исследований. Физическая модель самовоспламенения топлива в рамках теории теплового самовоспламенения рассматривается как экзотермическое тепловыделение q_1 в пространство реактора (сосуда с реакционной смесью), через стенки которого происходит отвод теплоты q_2 . Экзотермическое тепловыделение q_1 определяется как количество тепла, ежесекундно выделяемая в единице объема V_p , где идет цепная реакция в газовой фазе:

$$q_1 = Q' \cdot v \cdot V_p, \quad (1)$$

где Q' – количество тепла, ежесекундно выделяемое при элементарном акте реакции; v – скорость реакции в газовой фазе; V_p – объем реактора.

С учетом зависимости скорости реакции в газовой фазе от энергии активации и температуры газа тепловыделение q_1 определяется как:

$$q_1 = v \cdot Q' \cdot k \cdot a^n \cdot e^{-E_a/RT_1}, \quad (2)$$

где k – константа скорости газовой реакции; n – порядок реакции; a – концентрация газового компонента; E_a – энергия активации; R – универсальная газовая постоянная; T_1 – температура в зоне реагирующей смеси.

Количество тепла q_2 , отводимого в стенки реактора, определяется в соответствии с законом Ньютона-Рихмана [6]:

$$q_2 = \alpha \cdot (T_1 - T_0) \cdot S, \quad (3)$$

где α – коэффициент теплоотдачи газов в стенки сосуда; T_0 – температура стенок; S – площадь стенок сосуда.

Между потоками q_1 экзотермического выделения и q_2 отводимого тепла устанавливается взаимосвязь температуры самовоспламенения смеси в реакторе и энергии активации цепной реакции:

$$\begin{cases} q_1 = q_2 \\ \frac{dq_1}{dT} = \frac{dq_2}{dT} \end{cases} \quad (4)$$

$$T_1^B \cong T_0 + R \cdot T_0^2 / E_a . \quad (5)$$

Из теории теплового взрыва [5] следует, что температура смеси в реакторе $T_1^B = T_1$, при которой потери тепла вследствие теплопередачи в пространстве реактора равны теплоте, которая выделяется в ходе элементарного акта цепной реакции при одинаковых скоростях теплонагрева $\frac{dq_1}{dT}$ и теплоотдачи в стенки реактора $\frac{dq_2}{dT}$ (рисунок 1).

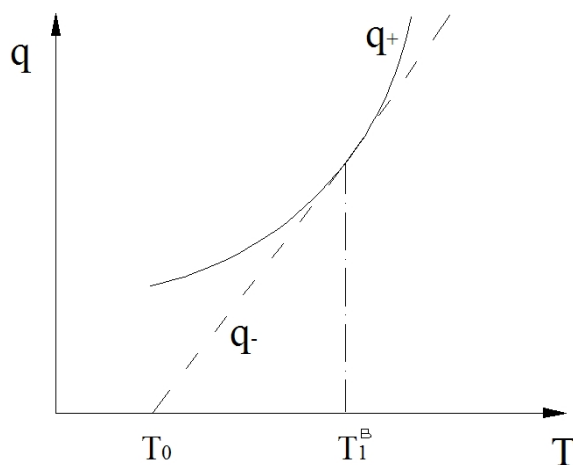


Рисунок 1 – Графическая интерпретация теплового взрыва в газовой смеси реактора

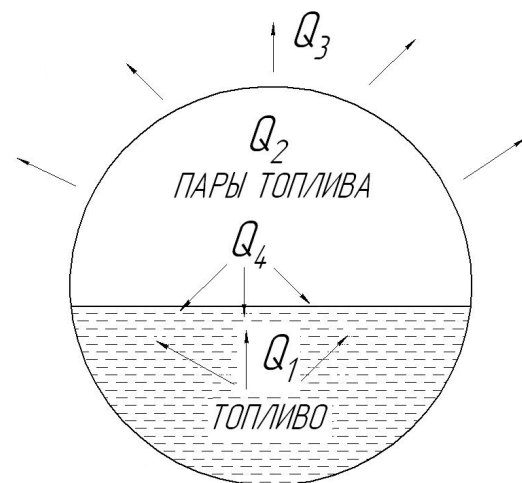


Рисунок 2 – Расчетная схема для составления баланса теплоты с целью определения «условной» энергии активации топлива.

Таким образом, определение условной энергии активации возможно с помощью использования теории теплового воспламенения [5]. Для чего возможно использование сосуда с топливом (рисунок 2), имеющее тепло Q_1 , способствующее выделению паров топлива в пространство над поверхностью жидкого топлива, в котором также находится кислород воздуха, приводящий к началу протекания химической реакции окисления, в результате чего выделяется тепло Q_2 . Выделяющееся в ходе протекания реакции тепло Q_2 , отводится в стенки Q_3 и, в случае превышения температуры жидкого топлива и в топливо Q_4 .

Тепловой баланс данной термодинамической системы в момент воспламенения с учетом допущения, что мы пренебрегаем тепловыми потерями в стенках, ввиду их малой толщины, и тепловыми потерями Q_1 в топливе, будет иметь вид:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 , \quad (6)$$

где $Q_2 = \frac{v \cdot Q \cdot k \cdot a^n}{N} \cdot e^{-E_a/R \cdot T}$ - количество тепла, выделяемого при экзотермической реакции окисления паров топлива; $Q_3 = \alpha_{cm} \cdot (T_1 - T_0) \cdot S_1$ - количество тепла, отводимого в стенки реактора, здесь α_{cm} - коэффициент теплоотдачи газов в стенки сосуда; T_0 – температура стенок; S_1 – площадь стенок сосуда; $Q_4 = \alpha_{топл} \cdot (T_1 - T_{ж}) \cdot S_2$ - количество тепла, отводимого в топливо, здесь $\alpha_{топл}$ - коэффициент теплоотдачи газов в жидкость; $T_{ж}$ – температура жидкости; S_2 – площадь поверхности жидкости.

По условию теплового самовоспламенения [5] с учетом (4) получим:

$$\begin{cases} Q_1 + \frac{v \cdot Q \cdot k \cdot a^n}{N} \cdot e^{-E_a/R \cdot T} = \alpha_{cm} \cdot (T_1 - T_0) \cdot S_1 + \alpha_{монл} \cdot (T_1 - T_{жс}) \cdot S_2 \\ \frac{v \cdot Q \cdot k \cdot a^n}{N} \cdot e^{-E/R \cdot T} \cdot \frac{E_a}{RT^2} = \alpha_{cm} \cdot S_1 + \alpha_{монл} \cdot S_2 \end{cases},$$

преобразуя систему, получим:

$$E_a = \frac{RT_1^2 \cdot (\alpha_{cm} \cdot S_1 + \alpha_{монл} \cdot S_2)}{\alpha_{cm} \cdot (T_1 - T_0) \cdot S_1 + \alpha_{монл} \cdot (T_1 - T_0) \cdot S_2 - Q_1}. \quad (7)$$

Таким образом, для определения энергии активации необходимо экспериментальное определение в момент воспламенения температуры паров топлива T_1 , температуры стенок T_0 . Трудность заключается в определении коэффициента теплоотдачи паров топлива в стенки сосуда α_{cm} и коэффициента теплоотдачи паров в жидкое топливо $\alpha_{монл}$, которые зависят от свойств каждого конкретного вида топлива. Оценить их можно определив соответствующие температуры сред по законам теплопередачи до начала реакции окисления паров топлива:

$$\alpha_{cm} = \frac{Q_1}{(T'_1 - T'_{cm}) \cdot S_1}, \quad (8)$$

$$\alpha_{монл} = \frac{Q_1}{(T'_{жс} - T'_1) \cdot S_2}, \quad (9)$$

где T'_1 – температура паров топлива до наступления реакции окисления паров топлива; T'_{cm} – температура стенок сосуда до наступления реакции окисления паров топлива; $T'_{жс}$ – температура жидкого топлива до наступления реакции окисления паров топлива.

С учетом (7) – (9) получим:

$$E_a = \frac{RT_1^2 \cdot ((T'_{жс} - T'_1) + (T'_1 - T'_{cm}))}{(T_1 - T_{cm}) \cdot (T'_{жс} - T') + (T_1 - T_{жс}) \cdot (T'_1 - T'_{cm}) - (T'_1 - T'_{cm}) \cdot (T'_{жс} - T'_1)}. \quad (10)$$

Таким образом, полученная аналитическая зависимость (10) позволяет определить экспериментальным методом «условную» энергию активации жидкого топлива, путем проведения замеров температур жидкой и газообразной сред и температуры стенок реактора.

Предложенный подход по определению «условной» энергии активации был использован при разработке экспериментальной методики. За основу был взят метод определения температуры вспышки в закрытом тигле [7]. Для определения энергии активации тигль (рисунок 3) был оснащен дополнительно термопарой для измерения температуры паров топлива T_1 , температура стенок тигля T_2 и T_3 определялась безконтактным термометром Fluke65 (рисунок 4).

Для фиксации температуры паров топлива в момент их воспламенения использовался портативный цифровой анализатор-регистратор динамических процессов MIG-200 (рисунки 5 – 6). Испытания проводились на базе лаборатории теплотехнических и аэродинамических испытаний Испытательного центра «Транссерв» ОАО «ХК «Лугансктепловоз».

Исходя из выше сказанного, «условная» энергия активации топлива может быть измерена следующим образом:

- измерение температуры стенок безконтактным термометром либо термопарой в момент, когда воспламенение не происходит и в момент, когда происходит;
- измерение температуры паров с помощью термопары в момент, когда воспламенение не происходит и в момент, когда происходит;
- определение энергии активации по формуле (10).

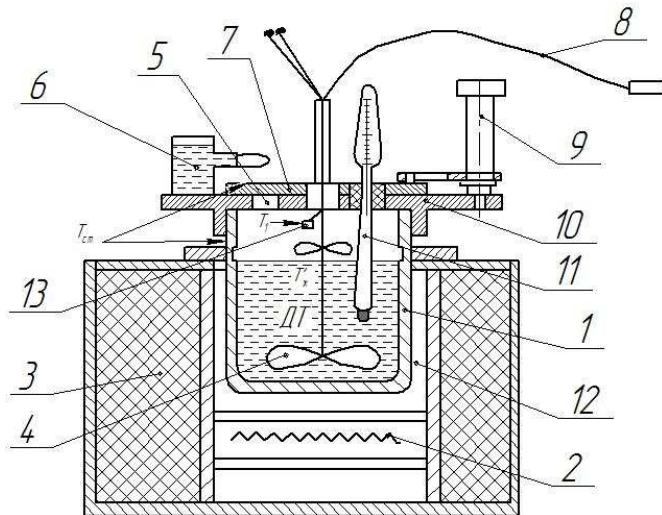


Рисунок 3 – Прибор для определения температуры вспышки нефтепродуктов: 1 – тигель; 2 – электронагреватель; 3 – асбест; 4 – мешалка; 5 – окно; 6 – фитильная зажигательная лампочка; 7 – подвижная заслонка; 8 – гибкий тросик; 9 – поворотная колонка; 10 – крышка тигля; 11 – термометр; 12 – воздушная ванна; 13 – термопара для фиксации температуры паров топлива



Рисунок 4 – Общий вид тигля дооснащенного термопарами и приборами для фиксации температур (Fluke655)



Рисунок 5 – Портативный цифровой анализатор-регистратор динамических процессов MIG-200

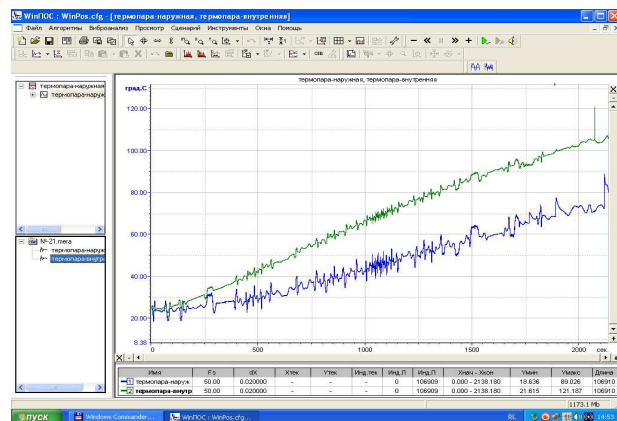


Рисунок 6 – Пример регистрации результатов испытаний по определению «условной» энергии активации озонированного топлива

Выводы. Адекватность данного метода была подтверждена при проведении экспериментальных и теоретических исследований по выявлению влияния озонированного топлива на рабочий процесс дизеля [8]. Предложенная методика может быть использована при проведении исследований процесса сгорания альтернативных видов топлив и топлив, имеющих в своем составе катализаторы горения.

Библиографический список использованной литературы

1. Голубенко А.Л. Влияние озонирования на энерго-экологические показатели тепловозного дизеля / А.Л. Голубенко, Е.С. Ноженко, И.П. Васильев, О.Л. Игнатьев // Вісник СХУ ім. В. Даля. — 2008. Ч. 1. — № 5 (123). — С. 149–153.
2. Могила В.И. Кинетическое описание процесса горения озонированного топлива / В.И. Могила, Е.С. Ноженко, А.Ю. Пилатов // Вісник СХУ ім. В. Даля. — 2009. — Ч. 1. — № 4 (134). — С. 142–147.
3. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы: учебник для вузов / Р.З. Кавтарадзе. — М.: МГТУ им. Баумана, 2008. — 720 с.
4. Патент РФ 2105293 G01N25/50. Способ определения энергии активации теплового взрыва в конденсированных средах / Филимонов В.Ю., Гуляев П.Ю., Евстигнеев В.В. — Бюл. № 9, от 20.09.1998.
5. Семенов Н.Н. Тепловая теория горения и взрывов / Н.Н. Семенов // Успехи физ. наук. — 1940. — Т. XXIII, вып. 3. — С. 251–292.

6. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. — Новосибирск: Наука, 1970. — 659 с.

7. ГОСТ 6356-87. Нефтепродукты. Продукты химические органические. Методы определения температуры вспышки в закрытом тигле. — Введ. 30.06.87. — М.: Изд-во стандартов, 1987. — 7 с.

8. Golubenko A. Theoretikal ground of influence of ozonization on working process of diesel / A. Golubenko, A. Kravchenko, H. Nozhenko // International congress of heavy vehicles, road trains and urban transport, 6 – 9 October 2010. — Minsk: BNTU, 2010. — P. 274–280.

Поступила в редакцию 27.05.2011 г.

Кравченко О.П., Ноженко О.С. Методика визначення «умовної» енергії активації передполум'яних реакцій озонованого дизельного палива

У статті запропонована методика визначення «умовної» енергії активації дизельного палива при його озонуванні, що дозволить теоретично врахувати зміну хімічної структури палива при його озонуванні. Запропонована методика може бути використана при описі процесу горіння альтернативного палива і палива, що має у своєму складі каталізатори горіння.

Ключові слова: дизель, паливо, озон, «умовна» енергія активації, передполум'яні реакції.

Kravchenko A.P., Nozhenko E.S. Method of determination of «conditional» energy of activating of pre-flaming reactions of the ozonized fuel-oil

In the article methodology is offered on determination of «conditional» energy of activating of diesel fuel at his ozonization, that will allow in theory to take into account the change of chemical structure of fuel at his ozonization. The offered methodology can be used for description of process of burning of alternative fuel and fuel having catalysts of burning in the composition.

Keywords: diesel, fuel, ozone, «conditional» energy of activating of pre-flaming reactions.