

УДК 621.431.73

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УДАЛЁННОГО ОТ СВЕЧИ ЗАЖИГАНИЯ ИОНИЗАЦИОННОГО ЗОНДА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ГЕОМЕТРИИ ДВУХЗОННОЙ МОДЕЛИ СГОРАНИЯ В ПОРШНЕВОМ ДВС

© 2011 П. В. Ивашин, М. П. Рыбаков

Тольяттинский государственный университет

Предложен упрощённый, менее трудоёмкий, чем существующие, подход к разработке геометрии распространения пламени и построению двухзонной модели сгорания в цилиндре ДВС. Методика основана на использовании одного ионизационного зонда, удалённого от свечи зажигания. Результаты эксперимента, обработанные в соответствии с предложенной методикой, могут быть использованы для инженерных расчётов на предпроектной стадии при разработке новых ДВС, а также при доводке рабочего процесса существующих ДВС при использовании альтернативных топлив.

ДВС, сгорание, моделирование, двухзонная модель, тепловыделение.

Применение методов математического моделирования является необходимым этапом современного процесса проектирования тепловых двигателей. Наиболее сложным в моделировании является процесс сгорания. Это обусловлено сложностью самого процесса, недостаточной проработанностью химической кинетики горения углеводородов и значительным числом быстроизменяющихся факторов, влияющих на процесс сгорания в условиях поршневого ДВС. Среди известных подходов к разработке абстрактных описаний процесса сгорания наиболее распространены модели, разбивающие камеру сгорания на отдельные объёмы (зоны) [1]. Количество зон, их взаимодействие между собой определяет сложность и точность модели.

Многозонная модель – это наиболее сложное нульмерное (т.е. зависящее только от времени) описание процесса. Основой его является метод контрольных объёмов, согласно которому рабочий объём цилиндра разделён на конечное число контрольных объёмов, для каждого из которых соблюдаются законы сохранения. Многозонная модель позволяет достаточно точно оценивать нестационарные поля температур рабочего тела в объёме КС, что необходимо, например, для определения тепловых нагрузок на основные дета-

ли, оптимального распределения впрыскиваемого топлива в объёме КС и т. п.

Однако многозонные модели характеризуются достаточной сложностью геометрического построения и расчётной реализации. В связи с этим в некоторых случаях достаточно использования более простой двухзонной модели, которая позволяет анализировать теплообмен в камере сгорания и образование основных токсичных компонентов (например, оксиды азота – по времени пребывания и концентрации компонентов в зоне высоких температур). Для построения геометрии таких моделей на каждом шаге расчёта необходима оценка объёма зон, занимаемых продуктами сгорания и несгоревшей смесью. Для этого используется либо косвенное определение объёмов зон на основе анализа индикаторной диаграммы, либо дорогостоящий и сложный эксперимент со скоростной фоторегистрацией процесса сгорания.

В связи с отмеченным целесообразной является разработка методики получения адекватной геометрии зон на каждом шаге расчёта. Для этого предлагается использовать экспериментальные данные, полученные с помощью ионизационного зонда, установленного в наиболее удалённой от свечи зажигания зоне камеры сгорания.

Таким образом, целью работы является отработка методики построения геометрии двухзонной модели сгорания на основе достаточно простого эксперимента, основанного на электропроводности пламени углеводородов.

Предметом исследования является исследовательская установка УИТ-85, представляющая собой карбюраторную четырёхтактную одноцилиндровую поршневую машину с искровым зажиганием. Она обладает изменяемой степенью сжатия и двумя постоянными скоростными режимами, применяется для лабораторных испытаний моторных топлив, позволяет полностью реализовывать натурное моделирование сгорания в поршневом ДВС с искровым зажиганием, что и используется в стандартных испытаниях, а также в исследовательских целях.

Объектом исследования является процесс сгорания в условиях экспериментальной установки УИТ-85. Камера сгорания установки имеет простую цилиндрическую форму. Свеча зажигания расположена в боковой стенке. Диаметрально противоположно свече расположено посадочное место датчика детонации, который в нашем случае был заменен ионизационным зондом (рис.1).

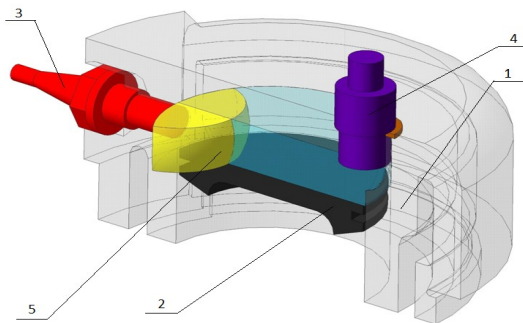


Рис. 1. Трёхмерная модель камеры сгорания:
1- цилиндр; 2 – поршень; 3 – свеча зажигания;
4 – ионизационный зонд; 5 – фронт пламени

Ионизационный зонд в наиболее удаленной от свечи зажигания зоне позволял регистрировать момент прихода фронта пламени в данную зону.

Для камеры сгорания экспериментальной установки осуществлялось по-

строение двухзонной модели сгорания. Основные принятые допущения:

- в каждой зоне в произвольный момент времени рабочее тело гомогенно, температура в объёме зоны постоянна, могут различаться только значения температуры в отдельных зонах;
- давление во всем объёме КС в произвольный момент времени одинаково;
- после каждого изменения температуры мгновенно устанавливается химическое равновесие;
- пламя распространяется по сфере, центром которой является электрод свечи зажигания;
- фронт пламени является бесконечно тонким.

Радиус фронта пламени определялся на каждом шаге расчёта (1° поворота коленчатого вала (ПКВ)) по следующей методике.

По моменту прихода пламени к ионизационному зонду (т.е. в наиболее удалённую от свечи зажигания зону КС) определялась средняя скорость распространения пламени [2]. Мгновенные (на каждом шаге расчёта) скорости распространения пламени определялись с помощью экспериментальных данных, полученных А.С. Соколикком [3] в сходных условиях (т.е. в камере сгорания такой же конфигурации и при таком же скоростном режиме). Скорость пламени в [3] определялась с помощью скоростной фотосъёмки через кварцевые окна в головке цилиндра. В результате анализа экспериментов была построена характерная кривая зависимости мгновенной скорости пламени от угла ПКВ (линия 2 на рис.2). Подобный характер изменения скорости пламени по ходу сгорания в ДВС также был установлен и другими авторами [4, 5]. Однако абсолютные значения скорости распространения пламени, полученные Соколикком, не были использованы непосредственно для построения нашей модели, поскольку условия не идентичны. Использован лишь характер изменения скорости пламени в зависимости от продолжительности процесса. Для нахождения пошаговых значе-

ний скорости пламени в наших условиях применён метод «геометрического масштабирования»:

1) на диаграмме скоростей пламени (рис.2) по оси ординат откладывается значение, равное средней скорости распространения пламени (определенное нами экспериментально), и проводится горизонтальная линия;

2) определяется площадь прямоугольника с основанием по оси абсцисс, равным периоду от искрового разряда до

достижения пламенем ионизационного зонда в градусах ПКВ;

3) проводится характерная линия изменения мгновенной скорости пламени (по Соколику), расположение которой по оси ординат подбирается таким образом, чтобы площади, ограниченные прямоугольником средней скорости (линия 1 на рис.2) и графиком изменения мгновенной скорости пламени (линия 2), уравнивались между собой.

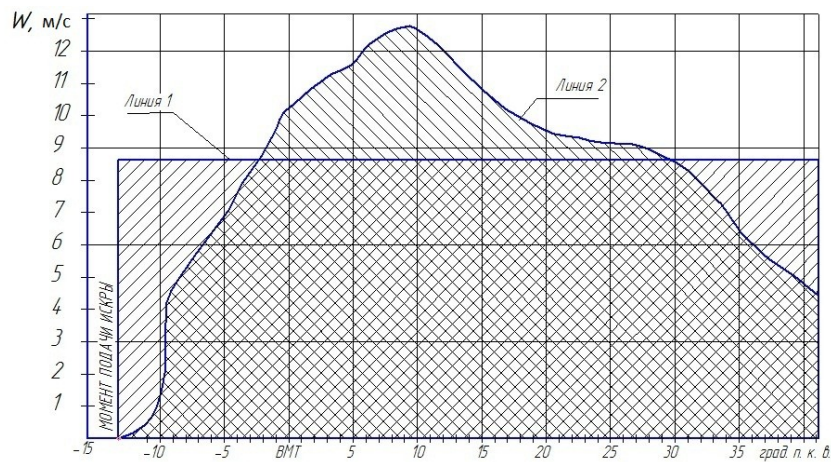


Рис. 2. Изменение скорости распространения пламени в зависимости от угла поворота коленчатого вала:
линия 1 - значение средней скорости распространения пламени (определённое экспериментально с помощью ионизационного зонда);
линия 2 - характерная линия изменения мгновенной скорости (по Соколику)

В результате определяются значения скорости распространения пламени на каждом расчётном шаге. Зная данные значения, легко определять радиус фронта пламени в данный момент времени.

Объёмы зон продуктов сгорания V'' и несгоревшей смеси V' , а также площади поверхностей контакта зон со стенками цилиндра и друг с другом определялись с помощью трёхмерной модели камеры сгорания (рис.1), использующей полный объём цилиндра (определялся кинематическим расчётом) и радиус фронта пламени.

Таким образом, на основе экспериментальных данных и расчёта кинематики движения поршня построена геометрия двухзонной модели сгорания в КС экспериментальной установки. Полученная

геометрическая модель является основой для расчёта температур рабочего тела в зонах продуктов сгорания и свежей смеси. Методика расчёта изложена в [1].

Для расчётов по двухзонной модели основную сложность представляют определение параметров теплообмена со стенками цилиндра и между зонами, а также выявление закона тепловыделения.

Анализ теплообмена рабочего тела со стенками цилиндра в каждой зоне, а также между зонами может быть осуществлён в соответствии с рекомендациями [6]. Закон тепловыделения может быть определён в результате анализа изменения давления в цилиндре в процессе сгорания. Определение давления в процессе горения — достаточно отработанная методика, однако она связана с определенными техни-

ческими трудностями, обусловленными необходимостью препарирования цилиндра либо применением дорогостоящих датчиков давления, совмещённых со свечой зажигания.

В случае использования предложенной в данной работе методики построения двухзонной модели тепловыделение может быть определено на каждом шаге расчёта с помощью уравнения

$$\Delta Q_i = \xi_z H_u \Delta m_i,$$

где ΔQ_i – теплота, выделившаяся на данном шаге расчёта в результате сгорания топлива; H_u – низшая теплотворная способность топлива; ξ_z – коэффициент полноты сгорания; Δm_i – масса топлива, сгорающего на данном i -м шаге расчёта, т.е. при изменении объёма сгоревшей смеси от предыдущего к данному шагу (в нашем случае шаг расчёта равен 1° ПКВ).

Масса топлива Δm_i может быть легко определена по полученной трёхмерной модели камеры сгорания, исходя из предположения того, что пары топлива распределены равномерно по всему объёму несгоревшей зоны. В этом случае доля сгоревшего на данном шаге расчёта топлива в общей массе цикловой подачи будет равна доле объёма, занимаемого разностью объёмов сгоревшей зоны на данном и предыдущем шаге, в общем объёме цилиндра на данном шаге (рис.3).

Выводы

Разработка геометрии распространения фронта пламени с помощью ионизационного зонда, удалённого от свечи зажигания, точнее по сравнению с применением косвенных методов и в то же время значительно проще, чем эксперимент по фотографированию сгорания в ДВС.

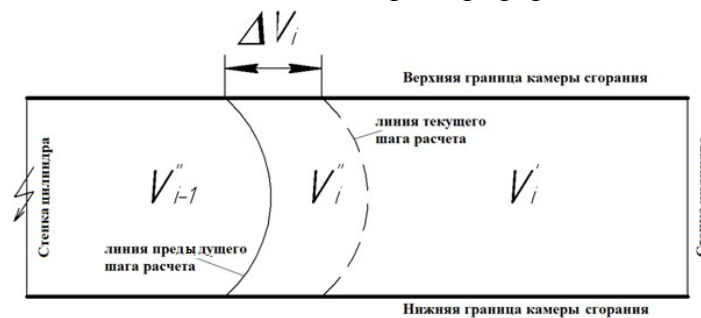


Рис. 3. Схема расчётной модели:

V_{i-1}'' – объём сгоревшей смеси; V_i'' – объём несгоревшей смеси;
 ΔV_i – приращение объёма сгоревшей смеси за шаг расчёта

Двухзонная модель, разработанная таким способом, даёт преимущества при анализе теплового состояния рабочего тела в любом месте камеры сгорания на каждом шаге расчёта. Полученные преимущества могут быть использованы для расчётов эффективности рабочего процесса и токсичности продуктов сгорания.

Предложенный подход может быть развит в методику двухзонного моделирования сгорания при проектировании и доводке рабочего процесса ДВС на основе экспериментов на модельной камере сгорания с одним или несколькими удалёнными ионизационными зондами. При

этом необходимо обоснование геометрического подобия распространения пламени в модельной и проектируемой камерах сгорания. Однако в процессе доводки рабочего процесса уже существующей камеры сгорания (совершенствование газообмена, смесеобразования, использование альтернативных топлив) такого обоснования не потребуется. Поэтому применение предложенного подхода к разработке модели сгорания для инженерных приложений можно считать целесообразным и перспективным.

Библиографический список

1. Кавтарадзе, Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы [Текст]: учебник для вузов / Р.З. Кавтарадзе – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 652 с.

2. Электропроводность пламени и скорость сгорания ТВС в двигателе с искровым зажиганием [Текст] / С.И. Будаев, П.В. Ивашин, А.П. Шайкин [и др.] // Автотракторное электрооборудование. -2004. - № 3. -С. 42 – 44.

3. Соколик, А.С. Самовоспламенение пламя и детонация в газах [Текст]/ А.С. Соколик – М.: АН СССР, 1960. -427с.

4. Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями [Текст]/ Д. Хиллиард, Т.У. Асмус, К. Брognaкке [и др.]; под ред. Д. Хиллиарда; пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1988. – 504 с.

5. Иноземцев, Н.В. Процессы сгорания в двигателях [Текст] / Н.В. Иноземцев, В.К. Кошкин. – М.: Машгиз, 1949. – 209 с.

6. Луканин, В.Н. Теплотехника [Текст] / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер. – М.: Высшая школа, 2005. – 671 с.

USING AN IONIZATION PROBE REMOVED FROM THE SPARKING PLUG FOR THE DEVELOPMENT OF A TWO-ZONE ICE COMBUSTION MODEL

©2011 P. Ivashin, M. Rybakov

Togliatti State University

A simplified method, less labor-intensive than the existing ones, for developing flame propagation geometry and constructing a two-zone combustion model in the ICE cylinder is proposed. The method is based on using one ionization probe removed from the sparking plug. The experimental results processed in accordance with the method proposed can be used for engineering calculations at the predesign stage of developing new internal combustion engines as well as for the operational development of the existing ICE working process when alternative fuels are used.

ICE, combustion, modeling, two-zone model, heat release.

Информация об авторах

Ивашин Павел Валентинович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые двигатели», Тольяттинский государственный университет. E-mail: ivashinpv@rambler.ru. Область научных интересов: рабочие процессы ДВС, процессы горения в энергетических установках, в т.ч. с использованием альтернативных топлив, исследования горения углеводородов с помощью явления электропроводности пламени.

Рыбаков Михаил Петрович, студент кафедры «Тепловые двигатели», Тольяттинский государственный университет. E-mail: mixail-ribackov@yandex.ru. Область научных интересов: процесс горения в условиях ДВС, математическое моделирование процесса сгорания.

Pavel V. Ivashin, candidate of technical sciences, associate professor of the department of thermal engines, Togliatti State University. E-mail: ivashinpv@rambler.ru. Area of research: ICE working processes, combustion of traditional and alternative fuels, using electro conductivity of flame for the combustion process research.

Mikhail P. Rybakov, student of the department of thermal engines, Togliatti State University. E-mail: mixail-ribackov@yandex.ru. Area of research: ICE working processes, combustion simulation.