

12) изучать влияние теплотехнических характеристик отопительных приборов в ЦТП, состояние теплоизоляции труб и здания в целом на величину теплопотерь в ЦТП;

13) выявлять оптимальные режимы работы ЦТП, направленные на снижение температуры и расхода теплоносителя от энергоисточника;

14) выполнять ряд расчетов познавательного характера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байрашевский, Б. А. Оценка теплопотерь и эффективности работы теплосетей / Б. А. Байрашевский // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. ФТН. – 2004. – № 4.

2. Байрашевский, Б. А. Влияние теплопотерь в окружающую среду на температурный режим работы теплообменников // Б. А. Байрашевский, Н. П. Борушко // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. ФТН. – 2000. – № 2.

3. Байрашевский, Б. А. Стабилизация теплового и гидравлического режимов работы теплосетей / Б. А. Байрашевский // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. ФТН. – 2005. – № 4.

Поступила 14.02.2006

УДК 621.4:536.46

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ

Канд. техн. наук АССАД М. С.

Барановичский государственный университет

Использование альтернативных моторных топлив в двигателях внутреннего сгорания требует всестороннего изучения их влияния на процесс сгорания, который характеризуется главным образом изменением скоростей химической реакции горения и распространения фронта пламени в камере сгорания в зависимости от режима работы двигателя. Для исследования физической картины распространения пламени при горении альтернативных моторных топлив была использована экспериментальная установка, представляющая собой закрытый сосуд в виде прозрачной камеры сгорания цилиндрической формы, постоянного объема, внутренним диаметром 80 мм и высотой 32 мм (рис. 1). Воспламенение топливовоздушной смеси производилось свечой зажигания, установленной в цилиндрической стенке модельной камеры.

Важнейшей характеристикой процесса горения топливовоздушных смесей является скорость распространения пламени. При ламинарном горении в модельной камере сгорания имеют место два вида скоростей: нормальная и линейная скорости, которые можно охарактеризовать следующим образом. Нормальной, или фундаментальной, скоростью пламени v_n называется скорость распространения горения посредством теплопроводности и диффузии, определяемая по отношению к несгоревшему газу в направлении, перпендикулярном фронту горения [1].

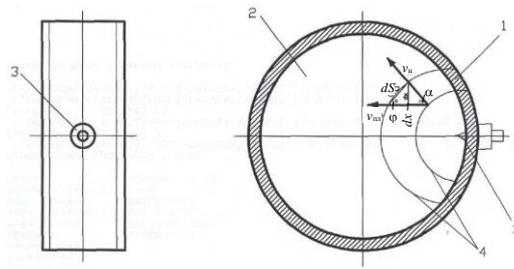


Рис. 1. Схема распространения пламени в модельной камере сгорания: 1 – цилиндрическая стенка камеры сгорания; 2 – прозрачная торцовая стенка камеры сгорания; 3 – свеча зажигания; 4 – две соседние ламины дуги пламени

Под линейной скоростью пламени $v_{пл}$ будем понимать скорость перемещения фронта пламени относительно прозрачной торцовой стенки 2 модельной камеры сгорания (рис. 1). Линейная скорость может значительно отличаться от нормальной скорости в зависимости от условий горения.

По поводу физической сущности искрового зажигания существуют разные теории: теория ионной природы, тепловой механизм, а также совместное влияние теплового и ионизационного факторов.

Если рассматривать искру как обеспечивающий распространение пламени тепловой источник [2], то электрический разряд между электродами свечи приводит к воспламенению небольшой части горючей смеси, т. е. образуется начальный очаг горения (фаза задержки воспламенения – промежуток времени от начала реакции до того момента, когда реакция начинает резко ускоряться благодаря возрастанию температуры).

Согласно [3] при разогреве необходимого количества смеси до критической температуры произойдет дальнейшее распространение пламени, механизм которого сводится к ламинарному подогреву смеси перед фронтом пламени благодаря теплопроводности и диффузии. При этом все факторы, влияющие на нормальную скорость v_n , будут влиять на минимально необходимую (критическую) энергию зажигания $Q_{кр}$. Они связаны выражением

$$Q_{кр} \sim v_n^{-(2...3)}.$$

Рассмотрим основную фазу процесса сгорания. Методом скоростного фотографирования установлено, что основная фаза сгорания представляет собой четко очерченную расширяющуюся дугу пламени 4 голубого цвета (рис. 1).

Поверхность голубой дуги представляет собой фронт пламени ламинарного горения, угол наклона которого к местному направлению линии потока свежей части смеси (по направлению пламени относительно прозрачной торцовой стенки 2 (рис. 1) камеры сгорания) в данной точке удовлетворяет соотношению:

$$\cos \alpha = \frac{dx}{dS} = \frac{v_{пл}}{v_n}, \quad (1)$$

или

$$\sin \varphi = \frac{dx}{dS} = \frac{v_{пл}}{v_n}, \quad (2)$$

где α – угол между нормальной и линейной скоростями распространения пламени; φ – угол наклона элементарного сегмента поверхности фронта пламени dS к направлению линейной скорости $v_{пл}$, $\varphi = 90^\circ - \alpha$.

Таким образом, фронт пламени устанавливается под таким углом φ к сечению dx элементарного цилиндрического объема свежей части смеси, что движущаяся вдоль этого элементарного объема свежая смесь успевает сгореть на элементе dS в процессе распространения пламени с нормальной скоростью v_n .

Следовательно:

$$v_{пл} = v_n \sin \varphi, \quad (3)$$

или

$$v_{пл} = v_n \cos \alpha. \quad (4)$$

Линейная скорость распространения пламени математически представляет собой приращение радиуса дуги пламени r относительно времени τ , т. е.

$$v_{пл} = \frac{dr}{d\tau}.$$

Так как горение происходит в закрытом сосуде, в котором свеча зажигания находится у цилиндрической стенки, можно предположить, что движение газов при расширении направлено к противоположной стенке камеры от свечи зажигания. Тогда фронт пламени будет двигаться со скоростью, определяемой степенью расширения газов при сгорании (это объясняется тем, что каждая элементарная ламина свежей части смеси толщиной dr после сгорания займет объем $\varepsilon_p dr$). Поэтому линейная скорость распространения пламени относительно прозрачной торцевой стенки модельной камеры сгорания составит

$$v_{пл} = \varepsilon_p v_n, \quad (5)$$

где ε_p – коэффициент расширения при сгорании,

$$\varepsilon_p = \frac{T_{сг} M_{сг}}{T_0 M_0}.$$

Здесь T_0 , $T_{сг}$ – соответственно начальная температура и температура сгорания; M_0 , $M_{сг}$ – соответственно начальная масса (доля) смеси и масса продуктов сгорания (сгоревшей части смеси).

Известно [3, 4] уравнение для расчета квадратного значения нормальной скорости распространения пламени при горении различных топливо-воздушных смесей

$$v_n^2 = \frac{2Q\lambda_\Gamma}{\rho_{св}^2 C_{pср}^2 (T_B - T_H)^2} \int_{T_B}^{T_\Gamma} W dT, \quad (6)$$

где Q – количество выделяемой теплоты, Дж/г; λ_r – коэффициент теплопроводности продуктов горения при $T = T_r$; $\rho_{св}$ – плотность свежей части топливоздушнoй смеси; $C_{p\text{ ср}}$ – средняя теплоемкость между T_n и T_b ; T_b – температура воспламенения смеси; T_n – начальная температура смеси; T_r – температура продуктов горения; W – скорость реакции,

$$W = -\frac{dc_A}{dt} = 2,74 \cdot 10^{25} d_{ср}^2 P c_A c_B e^{-\frac{E}{RT}} \sqrt{\frac{T}{M_{пр}}}, \quad (7)$$

где $d_{ср} = \frac{d_A + d_B}{2}$ – средний эффективный диаметр сталкивающихся молекул исходных компонентов A и B , см; P – так называемый вероятностный, или стерический, коэффициент; c_A, c_B – концентрация исходных компонентов, участвующих в реакции; E – энергия активации, кДж/(г · моль); R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,3$ Дж/(моль $^{-1}$ ·К $^{-1}$); T – температура горения смеси, К; $M_{пр} = \frac{M_A M_B}{M_A + M_B}$ – приведенный молекулярный вес (M_A, M_B – молекулярные веса компонентов реакции).

Таким образом, при известных значениях температуры сгорания и давления в камере (эти показатели можно определить как экспериментально, так и теоретически, вычислив по формулам, приведенным в [4–6]), и используя справочную литературу для определения входящих в формулы (6) и (7) коэффициентов и постоянных, можно производить приближенный расчет скорости распространения пламени для альтернативных моторных топлив.

Иногда удается определить не v_n или W , а величину, обратно пропорциональную ей, τ – время или продолжительность сгорания смеси:

$$v_n \sim \frac{1}{\tau}.$$

В качестве примера произведем расчет продолжительности сгорания водородно-воздушной смеси стехиометрического состава при различных значениях начального давления в камере сгорания (в диапазоне 0,03–2 МПа) и сопоставим результаты с экспериментально полученными данными о продолжительности сгорания в диапазоне начальных давлений от 0,03 до 1 МПа.

В отношении данной смеси известно, что эффективные диаметры молекул водорода и воздуха равны соответственно: $d_A = 2,06 \cdot 10^{-8}$ см и $d_B = 3,72 \cdot 10^{-8}$ см [7], эффективная энергия активации $E = 238,26$ кДж/(г · моль) [4], молекулярные веса водорода и воздуха равны соответственно: $M_A = 2,016$ и $M_B = 28,96$ [7]; $c_A = 0,3$; $c_B = 0,7$, температура T рассчитана по программе Equil для данного состава смеси с учетом начальных условий $T_0 = 293,15$ К и $p_0 = 0,03$ –2 МПа. Тогда: $d_{ср} = 3,23 \cdot 10^{-8}$ см; $M_{пр} = 1,88$.

Подставив постоянные величины в (7), получим следующую рабочую формулу для расчета скорости реакции

$$W = kPe^{-\frac{E}{RT}}\sqrt{T},$$

где $k = \frac{2,74 \cdot 10^{25} d_{\text{ср}} c_A c_B}{\sqrt{M_{\text{пр}}}} = 4,38 \cdot 10^9$ – постоянный множитель.

Так как $W \approx -\frac{\Delta c_A}{\Delta \tau}$, то $\Delta \tau = \frac{0,3}{W}$.

Подставив известную из эксперимента величину $\Delta \tau$, можно подобрать такое значение вероятностного коэффициента P , которое будет наилучшим образом аппроксимировать экспериментальные данные. Расчеты показали, что для водородно-воздушной смеси $P = 2 \cdot 10^{-5}$.

На рис. 2 изображен график изменения расчетных и экспериментальных значений продолжительности сгорания водородно-воздушной смеси в зависимости от значения начального давления p_0 . Обе зависимости имеют одинаковый характер протекания, при этом с увеличением начального давления в камере сгорания (что моделирует процесс сжатия в двигателе внутреннего сгорания) уменьшается продолжительность сгорания смеси, которая, как отмечалось выше, находится в обратной зависимости от величины скорости распространения пламени.

Из рис. 2 видно, что соответствие между расчетными и экспериментальными значениями продолжительности сгорания, а следовательно, и скорости распространения пламени, водородно-воздушной смеси получается вполне удовлетворительным. В диапазоне начальных давлений от 0,2 до 0,6 МПа наблюдается частичное совпадение расчетных значений с экспериментальными. Однако при начальном давлении $p_0 < 0,2$ МПа экспериментальные данные продолжительности сгорания оказались меньше расчетных в среднем на 20 %. Обратная картина наблюдается при $p_0 > 0,6$ МПа, причем экспериментальные значения превышают расчетные не более чем на 10 %.

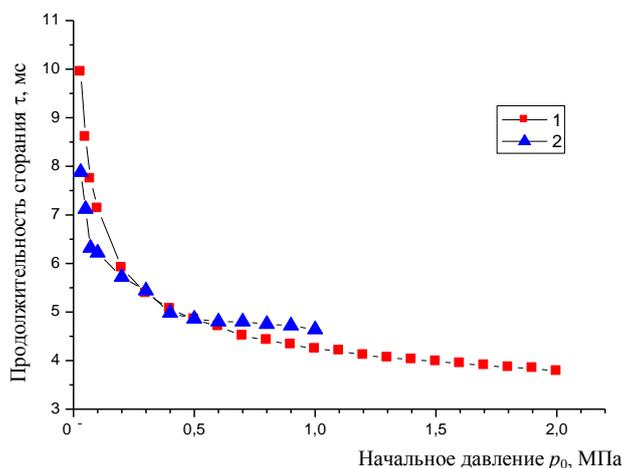


Рис. 2. Зависимость: 1 – расчетных и 2 – экспериментальных значений продолжительности сгорания водородно-воздушной смеси от начального давления p_0 в камере сгорания

Несоответствие расчетных значений с экспериментальными данными во всем диапазоне использованных начальных давлений объясняется, видимо, сложностью механизма горения водорода в разных условиях.

ВЫВОД

Несмотря на неполноту, описанный метод расчета скорости распространения пламени в модельной камере сгорания может оказаться полезным при выполнении аналогичного моделирования для исследования реальных процессов сгорания альтернативных моторных топлив в тепловых двигателях определенных типов. С помощью данного приближенного метода расчета скорости распространения пламени в камере сгорания можно получить при давлениях, соответствующих концу такта сжатия в двигателях внутреннего сгорания, результаты вполне удовлетворительные с погрешностью не более 10 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щелкин, К. И. Газодинамика горения / К. И. Щелкин, Я. К. Трошин. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 76.
2. Хитрин, Л. Н. Физика горения и взрыва / Л. Н. Хитрин. – М.: МГУ, 1957. – 442 с.
3. Зельдович, Я. Б. Химическая физика и гидродинамика / Я. Б. Зельдович. – М.: Наука, 1984. – 374 с.
4. Щетинков, Е. С. Физика горения газов / Е. С. Щетинков. – М.: Наука, 1965. – 739 с.
5. Семенов, Е. С. Исследование турбулентности в цилиндре поршневого двигателя / Е. С. Семенов, А. С. Соколик // Изв. АН СССР. – 1958. – № 8. – С. 130–140.
6. Соколик, А. С. Самовоспламенение, пламя и детонация в газах / А. С. Соколик. – М.: АН СССР, 1960. – 427 с.
7. Кей, Д. Справочник физика-экспериментатора / Д. Кей, Т. Лэби. – М., 1949.

Представлена кафедрой
физико-математических
дисциплин

Поступила 20.04.2006

УДК 621.382

РАСЧЕТ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ В ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ АНАЛИТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Канд. техн. наук, доц. БОНДАРЕВ В. А.

Белорусский национальный технический университет

Как показывает анализ, разработка эффективных физически обоснованных методов для расчета параметров транзисторов в интегральных схемах является чрезвычайно актуальной проблемой. Аналитические решения и формулы, представленные в настоящей статье, основаны на использовании принципа сохранения электрических зарядов, что позволяет определить значения электрического тока в полупроводниковых элементах с учетом изменения параметров их работы. Необходимо отметить, что в настоящее время существуют только численные схемы, предлагаемые для этих расчетов. Такие алгоритмы также всегда требуют проверки сохранения электри-