

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ ВЫПУСКНОГО КОЛЛЕКТОРА ДВС

Сухонос Р. Ф., магистрант ЗНТУ

Руководитель Мазин В. А., канд. техн. наук, доц. ЗНТУ

С распространением комбинированных ДВС становится важным изучение тепловых и газодинамических показателей работы их выпускных органов, в особенности выпускного коллектора. Сочетание этих параметров с конструкцией двигателя с точки зрения пространственно-временной их взаимосвязи будет отвечать оптимальным условиям протекания рабочего процесса и наиболее эффективным показателем работы КДВС, так как перенос большего количества энергии выпускного газа из цилиндра в турбину способствует повышению производительности компрессора.

При этом выпускной коллектор остается недостаточно изученным, хотя тепловые процессы в нем сравнимы с цилиндром по теплоте, интенсивности обмена и уровню температур.

Для исследования выпускного тракта КДВС необходимо знать коэффициент теплоотдачи выпускного коллектора, а именно: изменение по длине, с течением времени и эксплуатационного режима, среднее значение. В открытой печати такие данные практически отсутствуют, поэтому используются данные аналогов.

В соответствии с законом Ньютона коэффициент теплоотдачи представляет собой частное от деления удельного теплового потока на разность температур среды и стенки и зависит от условий теплообмена на границе газ-стенка. Так как физическое значение коэффициента теплоотдачи не привязано только к выпускному коллектору ДВС, то за аналог принимается цилиндр. Для анализа коэффициента теплоотдачи берутся в расчет и другие теплотехнические и газодинамических системы, например, металлургические печи или котельные установки.

Измерение температуры потока газа.

Известно большое количество способов измерения мгновенной температуры потока газов. Их можно разбить на две основные группы: бесконтактные (косвенные) и контактные способы.

Из бесконтактных способов применяют следующие: по скорости звука и по скорости распространения волны конечной амплитуды. Из контактных способов измерения мгновенной температуры отработавших газов в ДВС

известны следующие: с помощью малоинерционного термометра (термопары или терморезистора), и с помощью нескольких малоинерционных термометров.

Измерение температуры отработавшего газа по скорости звука основано на зависимости

$$a = \sqrt{kRt_2}$$

где $k \approx 1,35$; $R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ – газовая постоянная; t_2 – мгновенная температура газа.

Скорость звука a измеряют с помощью звукового генератора и датчика звуковых колебаний, расположенных в выпускном коллекторе на расстоянии друг от друга. Измеряя время, в течение которого звуковое колебание проходит расстояние, определяют скорость звука и затем, температуру.

Измерение мгновенной температуры отработавшего газа по скорости распространения волны конечной амплитуды осуществляется следующим образом. Прямая волна давления конечной амплитуды распространяется со скоростью

$$\omega_b = a + \omega$$

где a – скорость звука (мгновенная); ω – скорость потока газа (мгновенная).

Скорость ω_b определяют, измеряя датчиками мгновенное полное давление и мгновенные статические давления в двух сечениях выпускного трубопровода. Мгновенную температуру отработавшего газа находят по скорости звука.

Рассмотренный способ, как и предыдущий, позволяет измерить мгновенную температуру газа, осредненную за некоторое время, в объеме, ограниченном двумя сечениями.

Контактным способом производится измерение температуры отработавшего газа в малооборотных ДВС с помощью малоинерционного термометра (термопары или терморезистора). Стандартные термопары и терморезисторы непригодны для измерения температур вследствие их слишком большой инерционности по времени. Малоинерционные термопары изготавливают из проволоки диаметром 10-30 мкм и используются в комплекте с усилителями и осциллографами.

Применяются следующие пары металлов: хромель-алюмель, медь-копель, нихросил-нисил, платина-платинородий, некоторые из которых работают при температуре до 1700°C.

Для увеличения точности измерения температуры применяют системы с двумя или тремя малоинерционными термометрами.

Основное преимущество косвенных способов измерения температур по сравнению с контактными заключается в отсутствии систематических

погрешностей, обусловленных теплообменом датчика и потока газа, и отсутствии динамических погрешностей, обусловленных тепловой инерцией датчиков. Недостаток их связан с необходимостью размещения датчиков в различных сечениях трубопровода, вследствие чего определяемая температура газа является осредненной по объему.

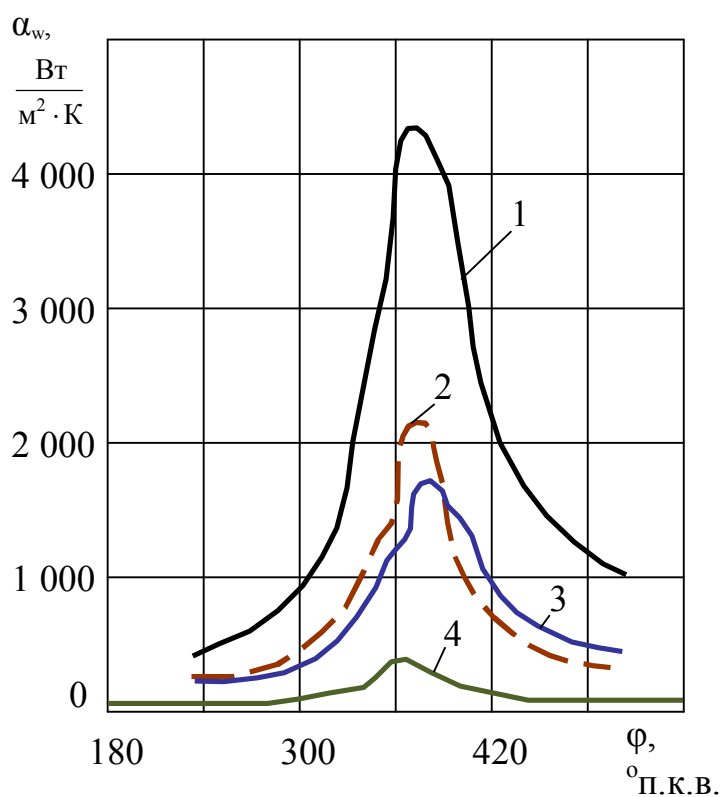
Методики определения коэффициента теплоотдачи

Известны физические и большое количество эмпирических методов определения коэффициента теплоотдачи. Вследствие многообразия типов двигателей, способов организации рабочего процесса и особенностей конструктивного исполнения полученные эмпирические формулы для расчета мгновенных значений коэффициента теплоотдачи могут применяться только для узкого класса двигателей и ограниченного диапазона режимов их работы.

Далее анализируются наиболее известные формулы для расчета коэффициента теплоотдачи для камер сгорания ДВС.

Формула Эйхельберга теплоотдачу лучеиспусканием не учитывает; она получена по результатам экспериментов на среднеоборотном двухтактном дизеле.

Формула Пфлаума получена по результатам экспериментов на четырехтактном дизеле с наддувом. Так же, как и в формуле Эйхельберга, в ней



не выделена составляющая лучистого теплового потока и не отражено влияние размеров двигателя.

Формула Вошни получена по результатам экспериментов на дизелях с- и без наддува. Формула Вошни учитывает различия в интенсивности движения рабочего тела в отдельные периоды рабочего цикла и размеры цилиндра.

Формула Розенблита является наиболее обоснованной и универсальной среди уравнений, дающих возможность вычислить локальные значения коэффициентов теплоотдачи; формула получена по результатам экспериментов на дизелях с- и без наддува.

Рис. 1 – Сравнение величин коэффициентов теплоотдачи, рассчитанных по формулам: 1 – Пфлаума; 2 – Вошни; 3 – Эйхельберга; 4 – Розенблита.

Проведенные расчеты изменения удельных тепловых потоков и коэффициента теплоотдачи на поверхности днища крышки цилиндра на режиме номинальной мощности дизеля Д70 дали следующие результаты. На протяжении четырех тактов значения коэффициента теплоотдачи составляет $20 \dots 42 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$ при временном скачке до $279 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$ в период, соответствующий воспламенению топливовоздушной смеси в цилиндре. Среднее значение коэффициента теплоотдачи за цикл приближенно составляет $55 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$.

Рассмотренные формулы позволяют определить мгновенные значения коэффициента теплоотдачи, которые необходимы при моделировании рабочего процесса в цилиндре двигателя и расчете температурных полей.

Также известны формулы Нуссельта и Брилинг-Нуссельта для расчета коэффициента теплоотдачи камеры сгорания, полученные опытами с калориметрическими бомбами, газовым двигателем и дизелями; и некоторые другие.

Из рисунка 1 видно, что при расчете коэффициента теплоотдачи по различным формулам результаты отличаются в несколько раз.

Известен также газодинамический метод расчета коэффициента теплоотдачи по балансу энергий.

Из уравнения энергии для элементарного объема

$$dq_w \frac{dF_w}{M_b} = \delta_w (T - T_w) \frac{dF_w}{M_b} = \frac{dw^2}{2} + d\ell + di$$

где T, T_w – температура газа и стенки, К

dF_w – поверхность теплоотдачи, $м^2$

δ_w – поверхностная плотность теплового потока, $Вт/м^2$

$d\ell, dw, di$ – механическая работа, изменение скорости и энтальпии газа,

M_b – расход рабочего тела, $кг/с$;

получаем среднее значение коэффициента теплоотдачи уже для выпускного коллектора.

$$\alpha_{wcp} = \frac{n}{60 \cdot \tau} \frac{Q_w}{(T_p - T_m) F_w}$$

где Q_w, F_w – теплота, переданная через стенку, и площадь поверхности теплоотдачи,

α_{wcp} – коэффициент теплоотдачи (средняя величина), $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$

T_p, T_m – средняя температура газа в выпускном патрубке и перед турбиной.

Представленная методика применялась для выпускного коллектора 4-тактного дизеля 6ЧН-12/14 при частичном нагрузочном режиме 22 кВт. Значения коэффициента теплоотдачи выпускного патрубка крышки цилиндров в период свободного выпуска ($\varphi=500\dots540^\circ$ ПКВ) составляет $1021\dots1102 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$, среднее значение $906 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$ при температуре стенок 875К.

Из анализа литературы установлено, что исследования коэффициента теплоотдачи выпускного коллектора практически не проводились, а те данные, которые известны, требуют дополнительной проверки и уточнения. Установлено, что действительные и средние значения коэффициента теплоотдачи отличаются в 2-3 и более раз. Значения, установленные разными методами, также значительно отличаются. В качестве наиболее достоверных приняты результаты, полученные газодинамическим методом исследования. Предполагается повторить расчет коэффициента теплоотдачи выпускного коллектора КДВС 6ЧН-12/14 для подтверждения его достоверности и выполнить аналогичный расчет по теплотехническому методу исследования. Кроме того, предполагается изготовить экспериментальную установку для определения теплового потока через стенку выпускного коллектора по методу электрической аналогии. Сопоставив полученные результаты, будет возможность подтвердить их достоверность и принято решение о дальнейших исследованиях.