

КОНТРОЛЬ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПО ЕГО ТЕМПЕРАТУРНОМУ СОСТОЯНИЮ

Орлов М.Ю., Чернов А.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет

При проектировании поршневых ДВС и исследовании их рабочих процессов обычно не проводят детального рассмотрения проходящих в них тепловых процессов. Чаще всего ограничиваются лишь расчетом теплового баланса ДВС, определяя его составляющие. В настоящее время некоторые из них могут быть определены с достаточной точностью (теплоты сгорания заряда горючего, тепло, отводимое в охлаждающую жидкость), ряд других тепловых процессов для точного расчета пока не доступны. К последним следует отнести процессы так называемого "локального характера", например, связанные с распределением тепловых потоков в камере сгорания, приводящие к образованию сложных температурно-напряженных состояний в таких деталях, как поршень, гильза цилиндра и т.д. Некоторые из этих процессов интенсивно исследуются и результаты их исследований близки к внедрению в инженерные методики расчета, другие пока находятся на стадии разработки математических моделей явлений и стадии получения экспериментальных данных.

При разработке математических моделей процессов следует выделить, как наиболее сложные, две проблемы - проблему описания тепловых режимов для тел сложной (неклассической) формы и проблему получения информации о внешних воздействиях на исследуемый узел ДВС (идентификация и численная реализация условий однозначности задачи). Первая из этих проблем практически решается реализацией вычислительных методов, среди которых наиболее универсальным является метод конечных элементов (МКЭ). Для тел простой формы проще и рациональнее использовать различные разновидности метода конечных разностей (МКР). Для многих задач успешно применяется метод эквивалентных тепловых схем (ЭТС), использующий, по сути, электротепловую аналогию и методы расчета, используемые в

теории электрических цепей. По перечисленным способам решения тепловых задач имеется обширная литература и специализированные программные продукты [1, 2, 3, 4, 5].

Таким образом, наиболее важной проблемой становится вторая-выявление физики процессов теплообмена, их интенсивности и т.д. С математической точки зрения это означает установление характера условий однозначности задачи. Без информации о теплофизических характеристиках тел, о температуре и режимах течения теплоносителей, об излучательных характеристиках тел и других необходимых параметрах довести решение задачи до реальных численных значений невозможно. Примером могут служить решения задач теплопроводности, которые кардинально различаются при разных граничных и начальных условиях.

Одной из достаточно важных задач, связанных с установлением теплового режима ДВС, является задача о теплообмене между поршнем и гильзой цилиндра двигателя. В общем случае постановка задачи выглядит следующим образом. При сгорании в цилиндре выделяется большое количество тепла, часть которого уходит с отработавшими газами, а часть передается в стенки головки, гильзу цилиндра и в поршень. Температура газов в камере сгорания превышает 1800...2000°C, в то время как рабочая температура деталей из алюминиевого сплава не должна быть больше 300...350°C. Для работы в таких условиях наиболее важна передача тепла через поршневые кольца в стенки цилиндра. При этом через верхнее кольцо уходит до 50...60% всего тепла, переданного из камеры в поршень, а через среднее до 15... 20%. Чтобы обеспечить передачу тепла через кольца, необходимо точное и плотное прилегание кольца к канавке поршня и поверхности цилиндра. Дефекты кольца (плохое прилегание к цилиндру поломки) и поршня (деформация или разрушение перемычек) приводят к снижению потока тепла от поршня и, соответственно, к перегреву с последующим разрушением. Другая часть тепла от поршня передается через его юбку в стенку цилиндра (10... 15%), а также через палец в шатун и далее рассеивается в картере (10...20%). Незначительная часть тепла уходит в картер в результате вентиляции внутри поршневого пространства при возвратно-поступательном движении поршня.

На рисунке 1 представлена схема контакта верхнего поршневого кольца двигателя ВАЗ-21083 со стенкой цилиндра. Видно, что при такте

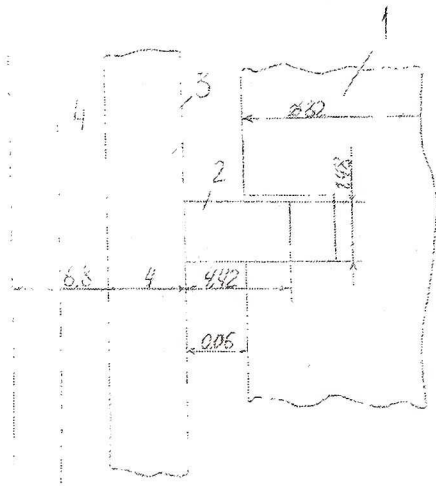


Рис. 1. Схема контакта верхнего поршневого кольца двигателя ВАЗ-21083 со стенкой цилиндра; 1 - поршень, 2 - поршневое кольцо, 3 - гильза цилиндра, 4 - канал охлаждающей жидкости.

сгорания поршневое кольцо под действием давления опирается на нижнюю поверхность канавки. Кроме того, кольцо за счет пружинения прижимается под действием сил давления к поверхности цилиндра.

Учитывая высокую теплопроводность сплава АК-4, применяемого для изготовления поршней ДВС, можно предположить достаточно равномерное поле температур в поршне на всех режимах работы. Это допущение подтверждается после вычисления значения критерия Био, которое составляет порядка $6,2 \cdot 10^{-3}$, что значительно меньше используемой в расчетах нормы для «термически массивных тел» ($Bi \leq 0,25$) и позволяет считать область в районе канавки поршневого кольца изотермической. В результате появляется возможность упростить модель теплообмена от поршня через кольцо к гильзе.

В выбранной модели кольцо рассматривается как тепловой мост между поршнем и гильзой. От поршня к кольцу тепловой поток формируется из трех составляющих (см. рисунок 2):

1. Поток тепла излучением и теплопроводностью через радиальный зазор (заполнен газом);

2. Поток тепла излучением и теплопроводностью через зазор над кольцом;

3. Поток тепла через контактные термические сопротивления образующееся при соприкосновении под давлением кольца и поршня и поток тепла, сформированный в теле кольца, уходящий через контактное тер-

мосопротивление в металл стенки цилиндра и уносимый теплоносителем (тосолом) с другой ее стороны.

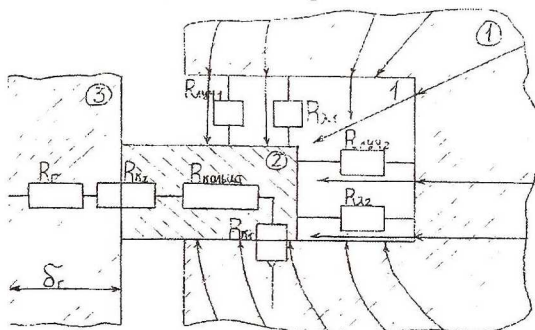


Рис 2. – Формирование теплового потока

На основании выбранной модели была составлена эквивалентная тепловая схема (ЭТС), с помощью которой было выполнено решение задачи. При определении составляющих сопротивлений для упрощения полагалось, что контактируют

плоские поверхности, а поток тепла стационарный и одномерный.

Термосопротивление кольца вычислялось по стандартным формулам из курса теплопередачи. Контактные термосопротивления R_{k_1} и R_{k_2} определялись по формулам [3, 5]. При этом оказалось, что формулы [5] обеспечивают большую точность расчета, так как они в пределах 10...15% согласуются с данными экспериментов. Масляный слой между гильзой цилиндра и поршневым кольцом был условно принят равным 0,001 мм, теплофизические величины в расчетах использовались для масел соответствующих по классификации SAE 10W 40. Расчеты для термосопротивлений процессов лучистого переноса тепла и теплопроводности в канавке поршня к поверхности кольца показали их весьма незначительную величину, что позволило пренебречь этими процессами в ходе дальнейших расчетов. Объяснение этому очевидно кроется в том, что теплопроводность продуктов сгорания весьма мала в широком диапазоне по составу продуктов сгорания, температуре и давлению и составляет порядка 0,02... 0,07 $\frac{Вт}{м \cdot К}$. Окончательно ЭТС задачи приобретает вид, показанный на рисунке 3. В этой ЭТС под T_{f_1} и T_{f_2} понимаются температуры поршня и охлаждающего теплоносителя (тосола).

Величина коэффициента теплоотдачи α между внутренней (охлаждающей) стенкой гильзы вычисляется с использованием критерияльных формул конвективного теплообмена [6]. В итоге поток

тепла от поршня через поршневое кольцо к гильзе может быть вычислен по классической формуле для теплопередачи, с учетом ЭТС.

Расчеты показывают, что их результаты в значительной мере зависят от степени износа поршневого кольца. В ходе этого процесса площади контакта уменьшаются, а термические сопротивления R_{k1} и R_{k2} увеличиваются. При этом R_{k2} увеличиваются опережающими темпами потому как, из-за прорыва газов из камеры сгорания снижается толщина масляной пленки. Это ведет к тому, что величина теплового потока и значения температур кольца и стенки цилиндра начинают уменьшаться. Тепло начинает перераспределяться по поверхности поршня, и теперь большая его часть будет уходить из него не через кольца, а через юбку и по линии «палец шатун - картер». Это вызывает разогрев юбки и как следствие, с течением времени заклинивание поршня в цилиндре. Таким образом, расчеты показывают, что при износе цилиндропоршневой группы происходит перераспределение температуры на стенке цилиндра (см. рисунок 3).

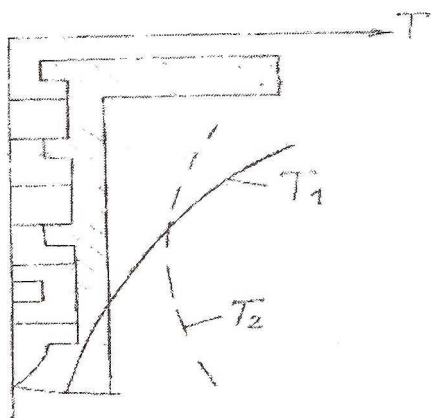


Рис. 3. Схема перераспределения температуры на стенке цилиндра: T_1 - распределение температуры у исправного двигателя; T_2 - распределение температуры у двигателя с изношенной цилиндропоршневой группой

Следовательно, по распределению температуры на стенке цилиндра на установившемся режиме работы ДВС можно судить о его изношенности. На практике предлагаемый метод диагностики может быть реализован путем установки трех термопар в стенке цилиндра и контроля их показаний во время проведения регламентных работ.

На втором этапе работы проводилась оценка времени прогрева внутренней стенки цилиндра после холодного запуска ДВС. Оказалось, что оно складывается из двух составляющих: иррегулярной стадии, когда происходит перестройка исходного темпера-

турного поля в стенке цилиндра и формирования температурного поля,

соответствующего действующему потоку тепла и регулярной стадии, в течении которой в изделии устанавливается неизменная разница температур между стенкой обращенной внутрь цилиндра и в сторону протоков системы охлаждения. Длительность иррегулярной и регулярной стадий определялась из соотношений, использующихся в расчетах для металлургической теплотехники. При этом использовались теплофизические характеристики для материалов ДВС и реальные размеры деталей. Для исправного двигателя расчеты показали время прогрева внутренней стенки цилиндра до рабочей температуры около 50°C. При внесении параметров износа стенки цилиндра и кольца были получены данные, хорошо согласующиеся с расчетами по ЭТС. По мере износа поршневого кольца и цилиндра теплоотдача в стенку цилиндра уменьшается, а время прогрева стенки цилиндра двигателя до рабочей температуры увеличивается. Данные результаты также могут иметь практическое применение. Вмонтировав в стенку цилиндра термопару с ее помощью можно фиксировать время прогрева. Располагая спектром экспериментальных данных для разных по степени изношенности двигателей, можно построить зависимость, где по времени прогрева можно будет судить об износе и делать вывод о необходимости ремонта.

Таким образом, в ходе проведенной работы удалось доказать возможность достаточно точной диагностики состояния цилиндропоршневой группы двигателя без его разборки с помощью анализа температурного состояния. В настоящее время подобная диагностика выполняется в основном с помощью измерения компрессии (метод не имеет достаточной точности из-за большого числа влияющих факторов) и разборки двигателя (потеря до 30% ресурса после сборки).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шлык Ю.П., Ганин Е.А. Контактный теплообмен. - М.: Госэнергоиздат, 1963. - 144с.
2. Шлык Ю.П., Ганин Е.А. Контактное термическое сопротивление. - М.: Энергия, 1977. - 400с.
3. Марченко В.М. Температурные поля и напряжения в конструкции летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1965.
4. Попов В.М. Теплообмен в зоне контакта разъемных и не разъемных соединений. - М.: Энергия, 1971.

- 5 Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. - М.: Атомиздат, 1962.
- 6 Колчин А.И., Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. - М.: Высшая школа, 1980. - 400с.

УДК 621.438

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПЕРСПЕКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ (ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КАМЕРЕ СГОРАНИЯ)

Полянцев Е.И.

ОАО «НПО «Сатурн», г. Рыбинск

За последние 20 лет в России кардинально изменился подход к созданию новой техники, в том числе и к газотурбинной. Это связано не с активным использованием мощностей компьютерной техники, оптимизацией конструкции, а, главным образом, с изменением целей. Так, в 80-е годы в СССР целью любого авиадвигательного предприятия было создание газотурбинного двигателя (ГТД), значит ГТД был инструментом решения технических задач. Сегодня целью функционирования любой организации стало получение прибыли, т.е. ГТД стал инструментом решения экономических задач. А каждая фирма работающая в такой наукоемкой области как двигателестроение по сути реализует инновационную экономическую политику.

В Европе и США эти процессы начались раньше. Так, всем привычная аббревиатура CALS из Continuous Acquisition and Life-cycle Support (непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделия) превратилась в Commerce At Light Speed (бизнес в высоком темпе или высокоэффективный бизнес). Программы ИНРТЕТ (Integrated High Performance Turbine Engine Technology - национальная программы США по созданию высокотехнического и высокотехнологичного ГТД) и UEET (Ultra Efficient Engine Technology – программа по созданию ультраэффективного двигателя) плавно переросла в программу VAATE (Versatile Affordable Advanced Turbine Engine – универсальная программа создания перспективных ГТД).