

1200...2200 мин⁻¹, при температуре масла 99⁰С. Начальная температура составила 20⁰С. Установлено, что при таком изменении температуры осевое усилие в шпильке возрастает на 4100...5200 Н в зависимости от места расположения шпильки в блоке. Пересчёт на предельную температуру масла – 110⁰С показывает, что это усилие может дополнительно увеличиваться на 600...700 Н.

Измеренная динамическая нагрузка на каждую шпильку от давления вспышки составляет 600...800 Н, что хорошо согласуется с расчётным значением динамической составляющей нагрузки, принятым при усталостных испытаниях шпилек.

УДК 621.43.016

*А.В. Тринёв, канд. техн. наук, А.Г. Косулин, канд. техн. наук,
В.Т. Коваленко, канд. техн. наук, А.Н. Авраменко, инж., Обозный С.В., инж.*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЕТАЛЕЙ КЛАПАННОГО УЗЛА АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ НА НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ НАГРУЖЕНИЯ

Введение

В последнее время для моделирования теплонапряженного состояния (ТНС) деталей ДВС широкое распространение получили программные комплексы, использующие метод конечных элементов (МКЭ). Возможности этих комплексов позволяют существенно сократить затраты времени на подготовку исходных данных, необходимых для расчетного анализа, связанные, главным образом, с заданием геометрии исследуемой детали, разбивкой расчетной области на конечные элементы (КЭ), графическим сопровождением решения задачи. Однако определяющую роль в постановке задачи теплопроводности и механики, как и ранее, играют корректно заданные граничные условия, которые должны отображать реальные условия теплообмена и нагружения детали. Уточнить граничные условия можно

Выводы

1. Разработанная конструкция блока и головки блока обеспечивает надежность газового стыка.
2. Назначенные условия монтажа головки блока, обеспечивающие прочность силовых шпилек и повышенную надежность газового стыка, что было подтверждено последующей стендовой и объектовой эксплуатацией двигателей 2ДТ.

Список литературы:

1. Отчёт по теме "Исследование работоспособности газового стыка высокофорсированных двигателей", № Госрегистрации 75051601, ИНДМАШ АН Белоруссии, Минск, 1975 г.

только на основе результатов экспериментальных исследований и, в частности, термометрии.

Дополнительные сложности возникают при термометрии подвижных деталей, связанные с необходимостью использования прерывистого токосъема. Сложность эксперимента при этом еще более возрастает при термометрии переходного, сравнительно короткого по продолжительности процесса, что связано с необходимостью фиксировать одновременно через короткие промежутки времени (секунды) термо- э.д.с. от нескольких термодатчиков. В статье рассмотрен один из возможных вариантов решения поставленной задачи, практически реализованный в ходе стендовых испытаний быстроходного дизеля СМД – 18Н на кафедре ДВС НТУ "ХПИ".

Анализ публикаций

Вопросы измерения температуры деталей ДВС в ходе испытаний рассматривались многократно. Полный, системный анализ термометрии можно, например, найти в книге И.Я. Райкова [1].

Как отмечается в [1], основным средством контроля температурного состояния деталей ДВС являются термопары и термометры сопротивления, позволяющие с достаточной точностью фиксировать местную температуру деталей при условии обеспечения надежного контакта их термочувствительного элемента и исследуемой деталью и удовлетворительной организацией токосъема, особенно в случаях измерения температуры подвижных деталей в быстроходных ДВС.

В работе [1] детально проанализированы условия заделки термопар, рассмотрены схемы их установки, обоснован выбор типа токосъемного устройства, приводится схема измерений термо-э.д.с. при периодическом токосъеме для клапанного узла. В последнем случае для регистрации сигнала от нескольких термопар используются переключатель и милливольтметр.

Необходимо отметить, что указанная схема применима только для контроля температурного состояния клапана на установившихся режимах нагружения и не может быть использована на переходных режимах, играющих значительную роль в появлении и накоплении повреждений деталей ДВС в эксплуатации.

Цель и постановка задачи:

Цель – повышение точности расчетного моделирования нестационарного ТНС деталей клапанного узла с использованием современных программных комплексов.

Задачи:

– разработка методики термометрии клапана на нестационарных режимах;

– получение на основе результатов термометрии эмпирических функциональных зависимостей, описывающих динамику теплового состояния клапана;

– уточнение граничных условий задачи теплопроводности при расчетном моделировании нестационарного ТНС.

Методика термометрирования клапана на нестационарных режимах

В качестве термоэлектродов для термопар использовалась пара хромель-алюмель. Диаметр электродов – 0.3 мм, диаметр шарика спая – 0.7 – 0.8 мм. Термопара вставлялась в стальную втулку с наружным диаметром 4 мм и с внутренним – 0.6 мм. Шарик спая вставлялся в стальную втулку и обжимался перед установкой на клапан. Расстояние горячего спая от наружной поверхности клапана после зачеканки капсулы с шариком в тело клапана выдерживалось в пределах 1.0 – 1.3 мм (рис.1). Термопары были установлены в 4-х контрольных точках, клапаны дообрабатывались механически и с применением электроэрозионного прожигания каналов под установку термопар, разнесенных по различным меридиональным сечениям. Рассмотрим некоторые особенности проведенного эксперимента, связанные с конструкцией токосъемного устройства, а также способом регистрации первичного сигнала от датчика (хромель-алюмелевая термопара). При длительных экспериментах с термометрированием, проводимых на быстроходном дизеле, успешное проведение испытаний в значительной степени зависит от надежности токосъема, который, как правило, при рабочем числе оборотов двигателя $n > 1500 \text{ мин}^{-1}$ выполняется с периодической связью термодатчика с регистрирующим прибором [1]. Конструкция токосъемника, апробированная в ходе испытаний проведенных автором [2] представлена на рис.2.

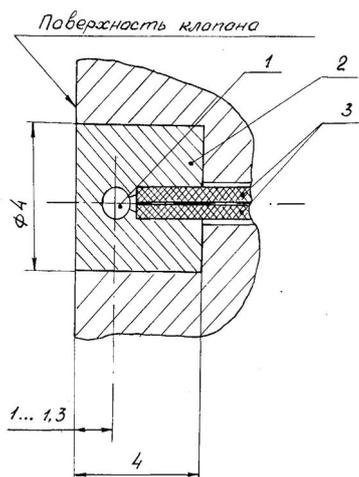


Рис.1. Схема заделки термопар в клапане

1- горячий спай термопары; 2- капсюль;
3- электроды

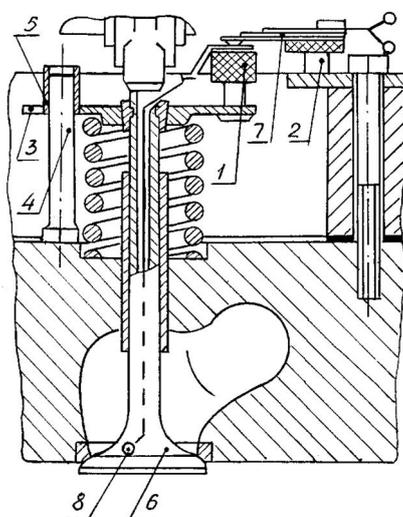


Рис. 2. Токосъемное устройство

1- подвижная колодка; 2- неподвижная колодка; 3- специальная пластина-тарелка клапана; 4- установочный штифт; 5- направляющая втулка; 6- клапан; 7- пластинчатые контакты; 8- место установки термопары

Токосъемное устройство с периодическим включением состоит из подвижной 1 и неподвижной 2 колодок. Подвижная контактная колодка 1, соединенная с выводами термопар, монтируется на специальной пластине 3, выполняющей функции тарелки клапана.

При этом используются серийные клапанные

пружины и сухарики. Установочный стержень 4, сопрягающийся с пластиной 3 посредством направляющей втулки 5, обеспечивает строго вертикальное (без проворотов) перемещение пластины 3 и клапана 6. Неподвижная контактная пластина 2 закреплена на головке цилиндров. На ней размещены хромелевые и алюмелевые пластинчатые составные пружины(рессоры) 7, контактирующие при закрытом клапане 6 соответственно с хромелевыми и алюмелевыми контактами на подвижной колодке 1. Максимальный прогиб рессоры 7 при замыкании не превышал 1.5 - 2 мм, что обеспечивалось предварительным подбором регулировочных пластин, устанавливаемых под одну из колодок при монтаже. Токосъем обеспечивал термометрирование клапана по 4-м контрольным точкам.

Обработка первичных сигналов (термо-э.д.с.) от термопар производилась при помощи тензометрической системы

СИИТ-3 [4], доукомплектованной специальной приставкой для термометрирования.

Основные характеристики системы СИИТ-3: быстродействие - 20 измерений в секунду, число каналов: 100 при одном активном тензорезисторе; номинальная цена деления при измерении температуры 0.01 мВ.

При замыкании контактов токосъема происходит зарядка конденсатора С до напряжения термо-э.д.с. горячего спая, а при размыкании контактов указанное напряжение на обкладках конденсатора измеряется и записывается системой СИИТ-3. Для того, чтобы за время одного замыкания контактов конденсатор С полностью зарядился (допускаемая абсолютная погрешность $\Delta \approx 1\%$) емкость конденсатора подбирается из условия:

$$\tau_3 \cong 4RC, \quad (1)$$

где τ_3 - время замкнутых контактов; R - сопротивление цепи термопар.

Время τ_3 , рассчитанное для номинального рабочего числа оборотов $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$, составило 0.0432 с ($\sim 467^\circ \text{п.к.в.}$), а емкость конденсатора - 0.000164 Ф , что соответствует сопротивлению цепи термопары $R = 64 \text{ Ом}$.

Система СИИТ-3 позволяет одновременно регистрировать термо- э.д.с. от 20 термопар с выдачей информации на печать через каждую секунду, что особенно важно в экспериментах со сбросами и набросами нагрузки, когда продолжительность переходного процесса ограничивается, как правило 3 - 6 минутами.

Оценка погрешности измерения температуры выпускного клапана

Для оценки погрешности измерения температуры клапана использованы теоретические положения и практические рекомендации, изложенные в работах [3, 5, 6].

Согласно принятой в теории измерений классификаций, измерения температуры клапана, проведенные по вышеизложенной методике, следует отнести к прямым измерениям. При оценке погрешности прямых измерений используются следующие основные критерии: предельная абсолютная ошибка измерительной системы; предельная относительная ошибка измерительной системы; абсолютная среднеквадратичная ошибка результата измерения; коэффициент вариации.

Предельная абсолютная ошибка Δx результата однократного прямого измерения определяется допускаемой погрешностью прибора, задаваемой классом точности прибора.

Предполагая нормальный закон распределения случайных ошибок при измерении температуры, а также учитывая то, что абсолютная ошибка

$$\Delta x = 3\sigma, \quad (2)$$

где σ - среднеквадратичная (стандартная) ошибка, доверительная вероятность того, что экспериментальные значения не выйдут за пределы Δx , составляет $\beta = 0.997$ [7].

За предельную относительную ошибку соответственно принимается величина

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X_{изм}} \cdot 100\% \quad (3)$$

За абсолютную ошибку результата прямого измерения, выполненного с помощью измерительной системы, состоящей из нескольких элементов, принимаем среднеквадратичную ошибку σ_x , вычисляемую по формуле

$$\sigma_x = \pm \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \dots + \Delta x_n^2}, \quad (4)$$

где $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ - абсолютные предельные погрешности элементов измерительной системы.

Коэффициент вариации определяется по формуле

$$W = \frac{\sigma_x}{X_{изм}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

Применительно к методике регистрации температуры выпускного клапана с помощью системы СИИТ-3 формула (4) принимает вид:

$$\sigma_x = \pm \sqrt{\Delta t_{II}^2 + \Delta t_T^2 + \Delta t_{XC}^2 + \Delta t_{TC}^2 + \Delta t_C^2}, \quad (6)$$

где Δt_{II} - погрешность, обусловленная тепловой инерционностью термопары; Δt_T - погрешность тарировки; Δt_{TC} - погрешность, вносимая прерывистым токосъемником; Δt_C - погрешность системы СИИТ-3.

Предельная относительная погрешность, обусловленная тепловой инерционностью термопары, рассчитывается по формуле

$$\sigma_{II} = \frac{1}{2} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2, \quad (7)$$

где $\omega = \frac{1}{T_d}$ - частота изменения нагрузки (T_d - время переходного процесса двигателя);

$\omega = \frac{1}{T_0}$ - собственная частота колебаний температуры термопары.

Погрешности, вносимые токосъемником, можно разделить на два основных вида [8]:

1. Это погрешности, вызванные разностью температур контактов, установленных на тарелке клапана (подвижных) и установленных на головке цилиндров (неподвижных). В нашем случае указанная погрешность полностью исключается, т.к. соответствующие контакты на подвижной и неподвижной частях токосъемника изготовлены из одного и того же материала (хромель, алюмель). При этом возникающая в термопаре ЭДС не зависит ни от температурного градиента и распределения температуры вдоль проводника, ни от изменения его сечения, а определяется только разностью температур холодного и горячего спая термопары.

2. Погрешности, связанные с несовершенством механического контакта токосъемного устройства в момент замыкания (несинхронная работа обоих контактов термопары, вибрация контактов, их загрязнение и окисление). Для аналогичных конструкций токосъемных устройств, использующих в качестве контактов наборы (рессоры) хромелевых и алюмелевых пластин, предельная относительная погрешность составляет $\delta_{TC} = \pm 0.5\%$ [8]. Следовательно, для рабочего диапазона температур выпускного клапана (0 – 750 °C) величина предельной абсолютной погрешности составит $\Delta t_c = 3.75$ °C. Относительная погрешность системы СИИТ-3 определяется выражением [4].

$$\delta_c = \left[0.1 + 0.003 \cdot \left(\frac{N}{N_i} - 1 \right) \right] \% , \quad (8)$$

где N - значение верхнего предела шкалы системы (9999); N_i - текущее значение наблюдаемого результата (для выпускного клапана $N_i = 5493$).

Таким образом, для термопары выпускного клапана

$$\delta_c = \left[0.1 + 0.003 \cdot \left(\frac{9999}{5493} - 1 \right) \right] = 0.125\% .$$

Абсолютная погрешность системы СИИТ-3 при регистрации температуры выпускного клапана в рабочем диапазоне температур 0 ÷ 750 °C,

$$\Delta t_c = \frac{0.125 \cdot 750}{100} = 0.9375 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Если пренебречь величиной погрешности $\Delta t_{II} = 0.825 \cdot 10^{-4}$, ввиду ее малости, то общая среднеквадратичная погрешность регистрации температур выпускного клапана

$$\sigma_t = \pm \sqrt{0.1^2 + 0.1^2 + 3.75^2 + 0.9375^2} ,$$

$$\sigma_t = \pm 3.86 \text{ } ^\circ\text{C}$$

при коэффициенте вариации

$$W_t = \pm \frac{3.86}{750} \cdot 100\% = \pm 0.515\%$$

Полученные значения оценочных критериев погрешности свидетельствуют о достоверности результатов термометрирования.

Для уменьшения влияния неизбежных в эксперименте случайных ошибок на получаемые результаты исследования данные эксперимента обрабатываются с использованием известных математических методов.

Рассмотрим построение эмпирической формулы, задающей закон изменения температуры выпускного клапана от времени в переходных процессах сброса и наброса нагрузки. Функциональная зависимость, описывающая этот процесс, имеет вид

$$t = t_k - (t_k - t_n) e^{-\kappa t} . \quad (9)$$

Формула (9) содержит три постоянных пара-

метра, подлежащих определению: t_n, t_k - температуры соответственно начала и конца процесса; k - показатель экспоненты. Для нахождения указанных величин и построения эмпирической формулы применялась методика, изложенная в [9], использующая метод наименьших квадратов для решения систем линейных уравнений и позволяющая, в результате, построить эмпирическую формулу для функциональной зависимости любого сложного вида, а не

только для простых линейных, степенных и др. зависимостей.

В таблице приведены некоторые результаты проведенной термометрии выпускного клапана дизеля СМД – 18Н на переходном режиме наброса нагрузки ($n_{xx} = 800 \text{ мин}^{-1}$ до $N_e = 66.3 \text{ кВт}$, при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$), а также полученные в результате обработки эмпирические зависимости для контрольных точек [2]. График изменения температуры для указанных точек 1 и 4 представлен на рис. 3.

Таблица. Построение эмпирических зависимостей по результатам термометрии

$t, ^\circ\text{C}$	Время переходного процесса $\tau, \text{с}$											Эмпирическая формула
	0	10	20	30	60	90	120	180	240	300	360	
1	189	226	328	416	551	602	627	630	633	634	638	$670 - (670 - 159) \cdot e^{-0.0239\tau}$
4	95	105	158	200	224	265	275	270	273	271	274	$279 - (279 - 76) \cdot e^{-0.0301\tau}$

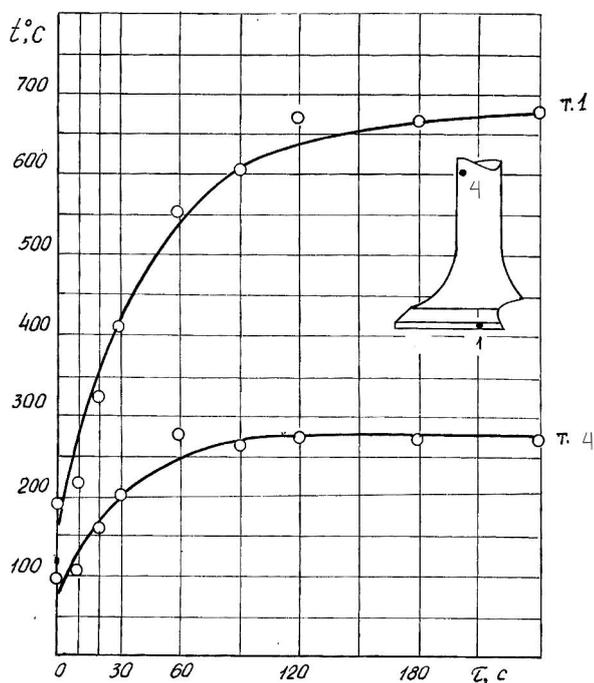


Рис. 3. Изменение температуры в контрольных точках клапана при набросе нагрузки, [2]

Выводы

Разработанная методика термометрии клапана быстроходного дизеля на нестационарных режимах нагружения позволяет получить динамические характеристики теплового состояния клапана, что в свою очередь является основой для назначения гра-

ничных условий в задаче теплопроводности для режимов сброса- наброса нагрузки.

Таким образом, экспериментальная методика, повышая достоверность и точность расчетных моделей, расширяет их возможности.

Список литературы:

1. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания. – М., 1975. 180 с.
2. Тринёв А.В. Улучшение напряженно-деформированного состояния выпускных клапанов форсированных тракторных дизелей: Дисс. канд. техн. наук. - Харьков, 1995. – 217 с.
3. Розенблит Г.Б. Особенности расчета и задания граничных условий при моделировании температурных полей в клапане и крышке цилиндра дизеля. / Г.Б. Розенблит // Двигателестроение. – 1982. – Вып. 9. - С. 21-24.
4. Система измерительная тензометрическая СИИТ-3. Руководство по эксплуатации 4Т2. 739. 004. РЭ. 78 с.
5. Туричин А.М. и др. Электрические измерения неэлектрических величин. - Л., 1975. 567 с.
6. Геращенко С.А. Температурные измерения. Справочник / С.А. Геращенко, А.Н. Гордонов, А.К. Еремина. - К., 1989. 704 с.
7. Зайдель А.Н. Ошибки измерений физических величин. Л., 1974. 108 с.
8. Перлов М.Л. Оценка погрешности измерений температуры поршня дизеля прерывистым токосъемником / М.Л. Перлов, А.В. Соснин, Е.И. Шельцова // Тракторы и сельхозмашины. 1977. Вып. 9. – С. 14 – 16.
9. Березин И.С. Методы вычислений, том 1. / И.С. Березин, И.П. Жидков. - М., 1966. 632 с.