

УДК 621.436:621.4.001.57

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУР ОГНЕВОГО ДНИЩА ГОЛОВКИ ЦИЛИНДРА ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

Гоц А. Н., Иванченко А. Б., Прыгунов М. П., Французов И. В.

ФГБОУ “Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых”, Владимир, Россия (600000, г. Владимир, ул. Горького, 87), hotz@mail.ru

Рассмотрено влияние форсирования тракторного дизеля по среднему эффективному давлению и частоте вращения на температуру огневого днища головки цилиндров. Для численных расчетов предложена математическая модель, которая позволяет определить температуру в межклапанной перемычке при известных значениях среднего эффективного давления и частоты вращения коленчатого вала. Показано, что эти модели могут быть применены при исследовании головки цилиндров любого двигателя. Разработана также модель, позволяющая определить температуру в отдельных точках головки цилиндра при известном значении температуры в межклапанной перемычке. Поскольку температуры в отдельных точках огневого днища линейно зависят от температуры межклапанной перемычки, то это позволяет вести контроль температурного поля при испытаниях. Адекватность полученных моделей проверялась по результатам испытаний головок цилиндров на безмоторном стенде, а также по данным литературных источников.

Ключевые слова: тракторный дизель, головка цилиндров, межклапанные перемычки, математическая модель.

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS FOR THE CALCULATION OF THE TEMPERATURE FIELDS OF CYLINDER HEAD TRACTOR DIESEL

Gots A. N., Ivanchenko A. B., Prygunov M. P., Frantsuzov I. V.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs”, Vladimir, Russia (600000 Vladimir, Gorky street 87), hotz@mail.ru

The influence of forcing on the mean effective pressure and rotation of the crankshaft on the temperature of the bottom of the cylinder head fire crossing. For numerical calculations of the mathematical model, which allows you to define the temperature in the jumper between the valves with the known values of the mean effective pressure and of rotation of the crankshaft. It is shown that these models can be applied in the study of the cylinder head of any engine. Was developed to model, allowing to define the temperature in the separate points of the cylinder. Since the temperature in the separate points of fire bottom linearly dependent on the temperature in the jumper between valves, it allows you to control the temperature field during tests. The adequacy of the obtained models tested on the results of testing of cylinder heads on powerless the stand, as well as from the literature.

Key words: a tractor diesel engine, the head of cylinders, jumper between valves, mathematical model.

Тракторные двигатели большую часть времени эксплуатируются на неустановившихся режимах работы ввиду непрерывного изменения момента сопротивления при выполнении машинно-тракторным агрегатом (МТА) сельскохозяйственных, транспортных или других видов работ. Колебания нагрузки на валу тракторного двигателя (и как следствие среднего эффективного давления p_e и частоты вращения коленчатого вала n) могут быть вызваны различными факторами: зоной эксплуатации МТА и её почвенно-климатическими условиями, периодом года, видом работ, принятой технологией производства, свойствами МТА и его энергетической установки, требованиями охраны труда, субъективными факторами оператора и др.

Колебания среднего эффективного давления p_e и частоты вращения коленчатого вала вызывают изменение механических и температурных нагрузок действующих на головку

цилиндра (ГЦ). Наиболее опасными являются низкочастотные температурные напряжения, возникающие при переходе с одного режима работы на другой. Они могут превышать предел текучести материала ГЦ и при последующем охлаждении в результате сброса нагрузки или останова дизеля в наиболее нагруженных элементах (в основном в межклапанных перемычках, а также в перемычках между отверстием под форсунку и впускным или выпускным каналами) возникают растягивающие напряжения. Циклы нагрева и охлаждения вызывают термическую усталость и разрушения наиболее слабых сечений ГЦ.

При прогнозировании долговечности ГЦ возникает необходимость моделирования изменения температур в виде цикла нагружения, который эквивалентен условиям работы тракторного дизеля при эксплуатации. Поскольку температурное состояние ГЦ зависит от нагрузки (p_e) и частоты вращения коленчатого вала (n), для определения температур огневого днища на различных режимах работы двигателя была разработана математическую модель на основании экспериментальных данных, которая позволила бы однозначно определить температуру в межклапанной перемычке, а затем и в любой точке огневой поверхности днища ГЦ при заданных p_e и n .

На рис. 1 приведены данные из работ [2,3,4] по изменению температуры в межклапанной перемычке ГЦ в зависимости от p_e и n для дизеля 4ЧН 10,5/12 (Д-145Т).

Поскольку графики зависимостей $T_{\text{МКП}} = f(p_e)$ при различных частотах вращения коленчатого вала n эквидистантны, то каждая из кривых может быть описана полиномом второго порядка [1]:

$$T_{\text{МКП}} = a_0 + a_1 \cdot p_e + a_2 \cdot p_e^2, \quad (1)$$

где $T_{\text{МКП}}$ – температура в межклапанной перемычке ГЦ; $a_0 = f(n)$, $a_1 = f(n)$, $a_2 = f(n)$ – коэффициенты, которые принимают разное численное значение в зависимости от частоты вращения коленчатого вала n .

Действительно, каждая из шести кривых на рис. 1 может быть описана уравнением:

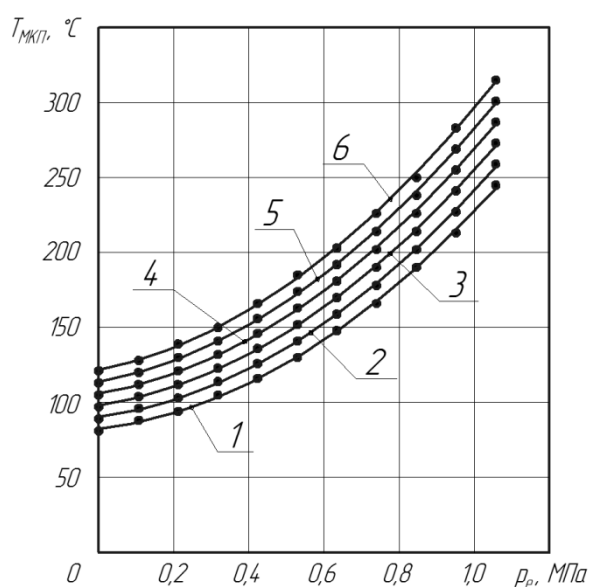


Рис. 1. Зависимость температуры в межклапанной перемычке ГЦ дизеля 4ЧН 10,5/12 (Д-145Т) от среднего эффективного давления p_e при различных значениях частоты вращения коленчатого вала n , мин⁻¹: 1 – 1200; 2 – 1400; 3 – 1600; 4 – 1800; 5 – 2000; 6 – 2200

$$\left. \begin{aligned} T_{\text{МКП}}^{(1)} &= 82,59 + 29,14 \cdot p_e + 115,75 p_e^2; \\ T_{\text{МКП}}^{(2)} &= 90,41 + 33,40 \cdot p_e + 117,42 p_e^2; \\ T_{\text{МКП}}^{(3)} &= 98,24 + 37,66 \cdot p_e + 119,09 p_e^2; \\ T_{\text{МКП}}^{(4)} &= 106,06 + 41,91 \cdot p_e + 120,76 p_e^2; \\ T_{\text{МКП}}^{(5)} &= 113,89 + 46,17 \cdot p_e + 122,43 p_e^2; \\ T_{\text{МКП}}^{(6)} &= 121,71 + 50,42 \cdot p_e + 124,10 p_e^2. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Отметим, что коэффициенты парной корреляции для полученных выше зависимостей составляют $R \approx 0,997$ (с точностью до третьего знака). Следовательно, они имеют достаточно хорошее приближение к экспериментальным данным.

На рис. 2 представлена зависимость коэффициентов a_0, a_1, a_2 в (2) от частоты вращения коленчатого вала n .

Из графиков на рис. 2 следует, что коэффициенты a_0, a_1, a_2 линейно зависят от частоты вращения коленчатого вала n и могут быть описаны уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= 35,64 + 3,91 \cdot 10^{-2} n; \\ a_1 &= 3,61 + 2,13 \cdot 10^{-2} n; \\ a_2 &= 105,73 + 0,84 \cdot 10^{-2} n. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Для каждого из уравнений системы (3) коэффициент парной корреляции $R \approx 0,999$.

Тогда окончательно для определения $T_{\text{МКП}}$ получим следующее уравнение:

$$\begin{aligned} T_{\text{МКП}} &= (35,64 + 3,91 \cdot 10^{-2} \cdot n) + (3,61 + 2,13 \cdot 10^{-2} \cdot n) \cdot p_e + \\ &+ (105,73 + 0,84 \cdot 10^{-2} \cdot n) \cdot p_e^2 \end{aligned} \quad (4)$$

При расчетных исследованиях зависимость (4) позволяет определить температуру в межклапанной перемычке на различных режимах работы дизеля 4ЧН 10,5/12 (Д-145Т) или при форсировании дизеля по среднему эффективному давлению p_e и частоты вращения n .

Заметим, что температура в отдельных точках огневого днища ГЦ зависит от более нагретой в центре межклапанной перемычки [5].

Используя данные экспериментальных исследований, в которых определены температуры в различных точках ГЦ и межклапанной перемычке, найдем зависимость $T_i = f(T_{\text{МКП}})$. Здесь T_i – температура в характерных точках огневого днища.

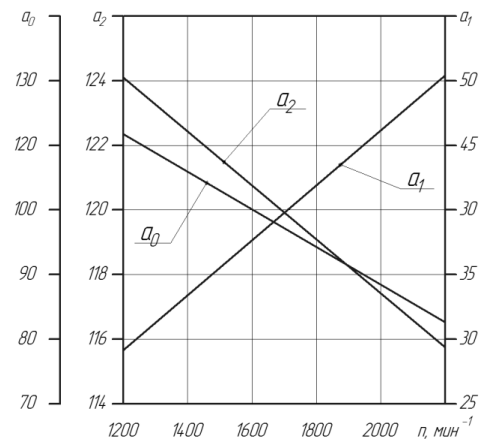


Рис. 2. Зависимость коэффициентов a_0, a_1, a_2 от частоты вращения коленчатого вала $n, \text{мин}^{-1}$

На рис. 3 показано численное значение замеренных температур T_i в 16 точках огневого днища ГЦ дизеля 4ЧН 10,5/12 (Д-145Т) в зависимости от температуры в межклапанной перемычке $T_{\text{МКП}}, ^\circ\text{C}$.

Из графиков следует, что зависимости $T_i = f(T_{\text{МКП}})$ являются линейными и могут быть описаны уравнением вида:

$$T_i = b_i + c_i \cdot T_{\text{МКП}} \quad (5)$$

где b_i, c_i – некоторые константы; $T_{\text{МКП}}$ – температура в межклапанной перемычке.

В табл. 1 приведены численные значения коэффициентов b_i и c_i , полученные по данным графиков рис. 3, для расчета температур в точках огневого днища $T_i (i = 1..17)$ в зависимости от температуры в межклапанной перемычке $T_{\text{МКП}}$.

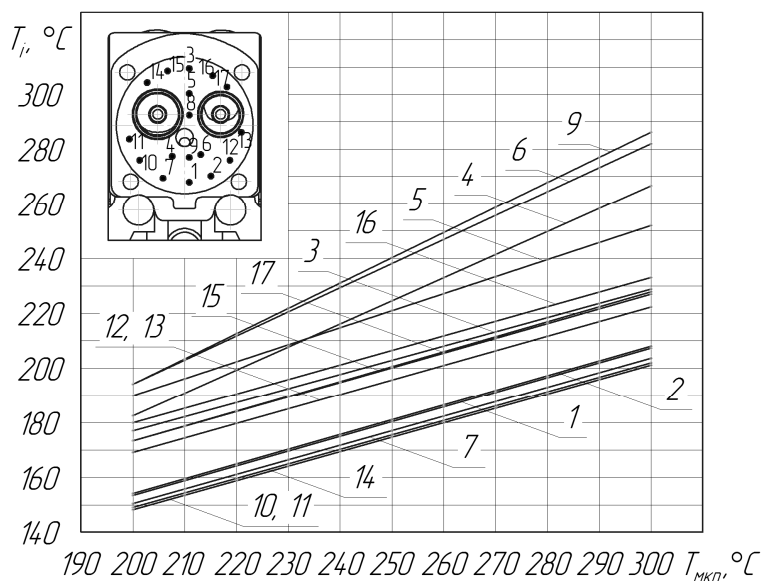


Рис. 3. Зависимость температур T_i в 16 точках огневого днища головки цилиндров дизеля 4ЧН 10,5/12 (Д-145Т) от температуры в межклапанной перемычке $T_{\text{МКП}}$. Цифрами обозначены термопары в точках огневого днища

Таблица 1

Значения коэффициентов b_i и c_i в формуле (5)

	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_9
b_i	46,067	46,867	73,257	14,319	66,005	19,029	43,395	9,4762
c_i	0,5380	0,5370	0,5186	0,8409	0,6197	0,8763	0,5293	0,9224
	T_{10}	T_{11}	T_{12}	T_{13}	T_{14}	T_{15}	T_{16}	T_{17}
b_i	44,029	43,167	63,405	62,948	43,395	65,690	74,729	64,657
c_i	0,5243	0,527	0,5297	0,5311	0,5293	0,5366	0,5273	0,5436

Таким образом, зная значения p_e и n по зависимости (4), можно определить температуру в межклапанной перемычке, а затем по (5) и в 16 других точках огневого днища ГЦ дизеля 4ЧН 10,5/12 (Д-145Т).

Уравнения (4) и (5) с численными значениями коэффициентов полиномов справедливы только для расчета температур в двухклапанной ГЦ дизеля 4ЧН 10,5/12 (Д-145Т). Однако располагая экспериментальными данными, аналогично приведенным на рис. 1 и рис. 3, та-

ким же образом можно получить зависимости $T_{\text{МКП}} = f(p_e, n)$, $T_i = f(T_{\text{МКП}})$ при изменении конструкции ГЦ (например, трехклапанной), а также и для других двигателей.

Список литературы

1. Взоров Б. А., Адамович А. В., Арабян А. Г. и др. Тракторные дизели: Справочник. – М.: Машиностроение, 1981. – 535 с.
2. Гоц А. Н. Разработка математических моделей по данным экспериментальных исследований // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3. – С. 78-80.
3. Закомолдин И. И. Методологические основы проектирования систем воздушного охлаждения поршневых двигателей внутреннего сгорания транспортных машин: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.02. – Барнаул, 2010. – 32 с.
4. Шароглазов Б. А., Закомолдин И. И. Численная оценка температур деталей цилиндро-поршневой группы двигателей воздушного охлаждения // Двигателестроение. – 2009. – № 3. – С. 13-18.
5. Эфрос В. В. Развитие научных основ конструирования тракторных дизелей с воздушным охлаждением: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.02. – Владимир, 1977. – 475 с.

Рецензенты:

Гаврилов Александр Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Тепловые двигатели и энергетические установки» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ) Министерства образования и науки РФ, г. Владимир.

Кульчицкий Алексей Рэмович, д-р техн. наук, профессор, главный специалист ООО «Завод инновационных продуктов» КТЗ, г. Владимир.