

Нгуен Донг Хо, В. М. Адамов,
Л. Я. Волчок, А. Г. Латокурский

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗОГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

Основную часть рабочего времени автотракторные двигатели работают на неустановившихся режимах, среди которых наиболее типичными являются переходные режимы: прогрев двигателя после запуска и при переходе от одной нагрузки к другой и охлаждение его после остановки. Знание динамики разогрева и охлаждения деталей двигателя в этих условиях позволяет определить ряд важных в эксплуатации и при стендовых испытаниях двигателей показателей. Такими показателями являются: интенсивность прогрева, время прогрева двигателя после его запуска, время выдержки на данном режиме до получения равновесного теплового состояния т. д.

Объектом исследования являлся двигатель Д-50 Минского моторного завода номинальной мощностью 55 л. с. при 1700 об/мин. В процессе исследований измерялись температуры поршня, гильз цилиндров и головки блока цилиндров. При этом применялись хромель-копелевые термопары, установленные на глубине 1,5—2,0 мм от огневой поверхности. Измерение температуры поршня производилось нулевым методом с периодическим включением термопары в цепь компенсации и с применением электронного осциллографа в качестве нуля-индикатора [1].

Отсчет показателей термопар производился через каждые 20 сек, что ограничивало число точек измерений, за которыми можно было вести наблюдения. Поэтому в каждой из перечисленных выше деталей велось наблюдение за температурой только в одной наиболее характерной точке (рис. 1): в поршне — в центре днища 1, в гильзе — на расстоянии 7 мм от верхнего торца со стороны вихревой камеры 2, в головке — в перемычке между клапанами 3, а также температурой выхлопных газов 4.

В работе исследовалась динамика изменения теплового состояния изучаемых деталей при прогреве двигателя после пуска и после скачкообразного изменения нагрузки, а также при охлаждении двигателя после скачкообразного снятия нагрузки и после остановки.

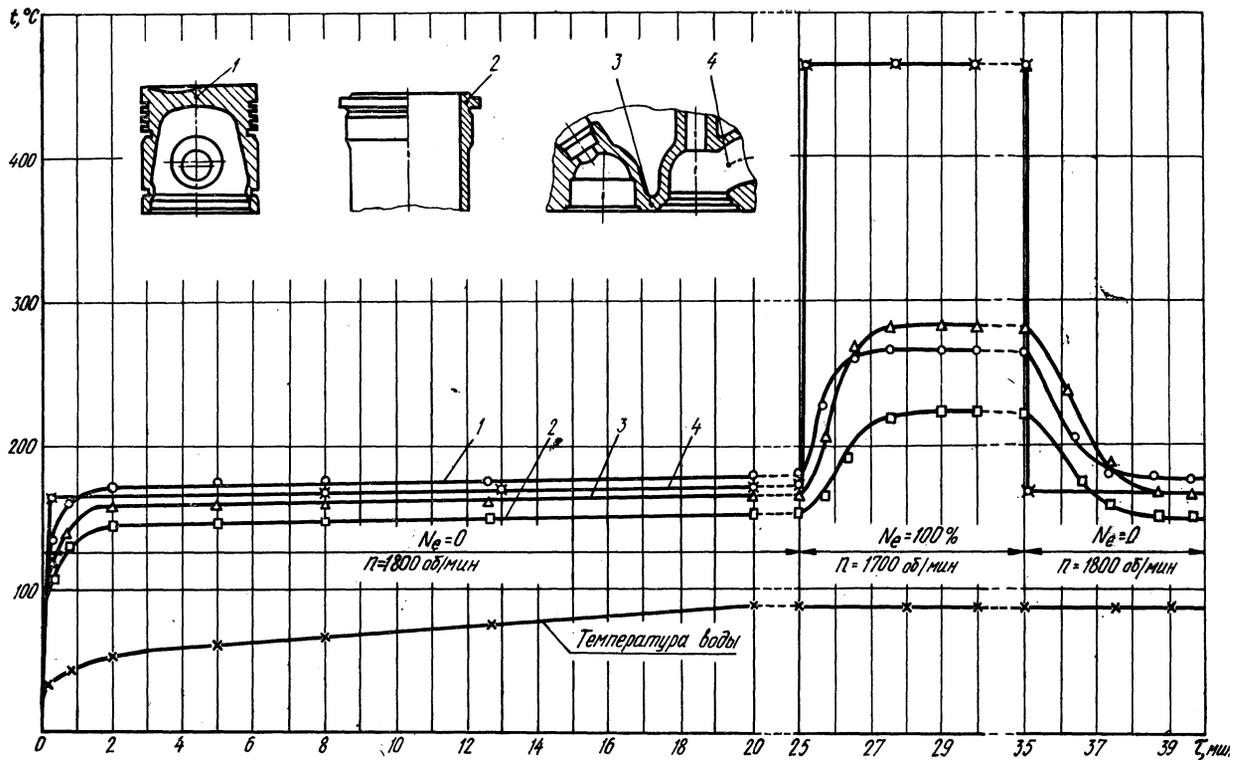


Рис. 1. Изменение температуры деталей при изменениях нагрузки двигателя

Во всех опытах началу переходного режима предшествовал установившийся режим. В частности, пуск производился из холодного состояния.

Результаты опытов представлены в виде графиков изменения температуры деталей с течением времени, часть из которых приведена на рис. 1. Однако такая интерпретация экспериментальных материалов при ее хорошей наглядности неудобна для определения количественных показателей, характеризующих переходный процесс. Так, в частности, при определении продолжительности переходного процесса трудно с достаточной достоверностью установить момент наступления равновесного теплового состояния, поскольку кривая изменения температуры асимптотически приближается к уровню равновесной температуры.

Учитывая это, для анализа переходного теплового процесса двигателя применена теория регулярного режима, разработанная профессором Г. М. Кондратьевым [2]. Строго говоря, эта теория применима только к твердым телам. Двигатель внутреннего сгорания не отвечает в полной мере этому требованию, так как в нем содержатся жидкостные включения (охлаждающая вода, смазочное масло). Однако, как показал анализ кривых изменений температуры, они с достаточным приближением на всем протяжении могут описываться экспонентой, поэтому тепловой процесс приближается к регулярному режиму.

Анализ по методу регулярного режима сводится к определению постоянной времени тела при его нагревании или охлаждении в данных условиях [3], которая в свою очередь позволяет определять продолжительность переходного процесса и интенсивность процесса нагревания и охлаждения.

В период регулярного режима процесс нагревания или охлаждения тела описывается уравнением экспоненты

$$\vartheta = \vartheta_0 e^{-m\tau} \text{ град}, \quad (1)$$

где $\vartheta_0 = t_k - t_n$ — начальный перепад температур (избыточная температура); t_n и t_k — начальная и конечная установившиеся температуры тела; $\vartheta = t_k - t$ — перепад температур в рассматриваемый момент времени; t — температура тела в рассматриваемый момент; τ — время, отсчитываемое от начала процесса; m — постоянная, имеющая размерность, обратную времени, и выражающая темп изменения температуры.

Из уравнения (1) после логарифмирования можно получить

$$m\tau = \ln \vartheta_0 - \ln \vartheta. \quad (2)$$

Написав эти равенства для двух произвольно выбранных моментов времени τ_1 и τ_2 и вычтя из первого равенства второе, получим

$$m = \frac{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2}{\tau_2 - \tau_1} \text{ 1/сек.} \quad (3)$$

Величина T , обратная величине m , т. е.

$$T = \frac{1}{m} = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2} \text{ сек}, \quad (4)$$

имеет размерность времени и называется постоянной времени процесса нагревания. Если моменты времени τ_1 и τ_2 выбрать так, чтобы

$$\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2 = 1, \quad (5)$$

то соответствующий этим моментам интервал времени $T = \tau_2 - \tau_1$ и будет значением постоянной времени.

Из равенства (5) следует, что

$$\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = e.$$

Отсюда вытекает физический смысл постоянной времени: это время, по истечении которого перепад ϑ_2 становится в e раз меньше начального перепада ϑ_1 , т. е. снижается примерно до 37% от начального значения.

Постоянная времени легко может быть найдена из графика функции $\vartheta = f(\tau)$, построенного по результатам эксперимента в полулогарифмических координатах: по оси ординат откладывается $\ln \vartheta$, а по оси абсцисс — τ . Тогда, взяв из графика на прямолинейном участке произвольные моменты времени τ_1 и τ_2 и соответствующие им значения логарифмов перепадов температур ϑ_1 и ϑ_2 , из равенства (4) находим значение T .

Постоянная времени позволяет определить продолжительность переходного процесса с любой заданной степенью приближения к установившейся температуре. Действительно, на основании соотношения (4) равенство (1) можно записать в таком виде:

$$\vartheta = \vartheta_0 e^{-\frac{\tau}{T}} \text{ град}, \quad (6)$$

или после логарифмирования

$$\tau = T \ln \frac{\vartheta_0}{\vartheta} \text{ сек}. \quad (7)$$

Отсюда, задаваясь значением ϑ , при котором процесс нагревания можно считать закончившимся, можно найти время прогресса $\tau_{\text{пр}}$. Так, например, время, необходимое для уменьшения перепада температуры ϑ до 1%, т. е. до $0,01 \vartheta_0$, будет равно

$$\tau_{\text{пр}} = T \ln 100 \cong 4,6T \text{ сек}.$$

Таблица 1

Характеристика теплового состояния поршня на переходных режимах

Двигатель	Поршень	Режим работы двигателя		Температура			Постоянная время	Максимальная интенсивность прогрева	Продолжительность прогрева	
		начало	конец	начало	конец	перепад			расчетная	опытная
—	—	—	—	°C			мин.	°C/сек	мин.	
Д 30/40	чугун	Пуск	$N_e=60\%$	20	280	260	4,3	1	19,8	18,0—20,0
		$N_e=70\%$	Останов.	300	40	260	4,3	1	19,8	—
ЧН 30/38	алюминий	Пуск	$N_e=0$	15	165	150	1,6	1,7	7,4	7,8
Д 120/165	алюминий	$p_e=0$ $n=1200$	$p_e=6,1$ $n=1200$	125	235	110	0,60	3,7	2,3	3,0
		$p_e=6,1$ $n=1200$	$p_e=0$ $n=1200$	130	235	105	0,51	3,4	2,4	2,7

Интенсивность изменения температуры при переходном процессе найдется дифференцированием по времени равенства (6):

$$\frac{d\vartheta}{d\tau} = -\frac{1}{T} \vartheta_0 e^{-\frac{\tau}{T}} \text{ град/сек.} \quad (8)$$

Максимальное значение интенсивности изменения температуры, как это легко видеть из предыдущего равенства, имеет место при $\tau=0$, т. е. в начале процесса, и равно

$$\left(\frac{d\vartheta}{d\tau} \right)_{\max} = -\frac{\vartheta_0}{T}. \quad (9)$$

Знак минус в правой части равенства (8) и (9) связан с тем, что во всяком переходном процессе перепад температур с течением времени убывает.

Проведенная по такой методике обработка опытных материалов показала, что значения постоянной времени изучаемых деталей двигателя Д-50 лежат в пределах 0,48—0,52 мин и практически одинаковы как при нагревании, так и при охлаждении. А это достаточно близко к значениям, полученным в работе [4] с двигателем примерно такой же размерности. Соответственно этому значению постоянной времени продолжительность прогрева этих деталей с приближением до 1% от начального перепада температуры составляет 2,1—2,4 мин.

Наибольшая интенсивность изменения температуры, соответствующая случаю прогрева двигателя сразу после пуска на режиме полной мощности, составляет 8,6°C/сек, что в 1,5 раза превышает интенсивность прогрева на максимальных оборотах холостого хода и в 3 раза соответственно при нагружении до полной мощности после прогрева двигателя на холостом ходу.

Для проверки возможности применения этого метода количественной оценки переходного режима к двигателям другой размерности были обработаны опытные материалы по измерению температуры поршня ряда двигателей на переходных режимах, опубликованные в работах [4] и [5].

Как и следовало ожидать, с увеличением размеров поршня и соответственно его теплоемкости постоянная времени увеличивается (табл. 1). Она больше у чугунных поршней, чем у алюминиевых, что связано с разной теплопроводностью материала. Соответственно большему значению постоянной времени увеличивается и время прогрева. Продолжительность прогрева, рассчитанная по величине постоянной времени, хорошо совпадает со значениями, определенными опытным путем.

Выводы

1. При прогреве двигателя после пуска или при скачкообразном изменении нагрузки, а также при его охлаждении после остановки или уменьшении нагрузки изменение температуры деталей

протекает по закону, близкому к экспоненциальному. Это позволяет применять в качестве количественной характеристики переходного процесса величину постоянной времени, определяемой на основании теории регулярного теплового режима.

2. Постоянная времени для поршня зависит от его размеров и материала, из которого он изготовлен. В частности, для алюминиевых поршней размерности двигателя Д-50 постоянная времени лежит в пределах 0,45—0,55 мин.

3. Постоянная времени позволяет определять продолжительность прогрева или охлаждения двигателя и интенсивность изменения температуры.

4. Наибольшая интенсивность изменения температуры поршня Д-50 при прогреве двигателя под полной нагрузкой сразу после его запуска в 1,5 раза выше, чем при прогреве на холостом ходу, и достигает $8,6^{\circ}\text{C}/\text{сек}$. Интенсивность прогрева двигателя на полной мощности после работы на холостом ходу равна $2,9^{\circ}\text{C}/\text{сек}$.

Л и т е р а т у р а

[1] Волчок Л. Я., Эсаулов Н. Г. Измерение температуры поршней двигателей внутреннего сгорания. — Труды ЦНИДИ. М.—Л., 1955, вып. 28. [2] Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим. М., 1954. [3] Волчок Л. Я. О тепловой инерции тонких проволок. — «Изв. вузов. Энергетика», 1958, № 6. [4] Wojciechowski S., Cichy M. Dynamika przebiegu temperatury denka tłokowego, — „Technika motoryzacyjna“, 1970, № 8—9. [5] Дьяченко Н. Х., Дашков С. Н., Костин А. К., Бурин М. М. Теплообмен в двигателях и теплонапряженность их деталей. Л., 1969.