

В. М. Адамов, А. Г. Латокурский

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОСТИ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ТРАКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ Д-50

Основным направлением технического прогресса в области двигателестроения является увеличение мощности при снижении удельного веса двигателей и улучшении их экономичности. Наиболее эффективный путь решения этой задачи — форсирование двигателей. Однако предел возможного форсирования двигателей ограничивается ростом механических и тепловых напряжений основных деталей.

Одной из наиболее напряженных в тепловом отношении деталей является поршень. При форсировании двигателей тепловая напряженность поршней значительно возрастает и чаще всего именно она ограничивает предел повышения мощности двигателя. Поэтому для оценки возможности форсирования двигателя с точки зрения теплонапряженности его деталей необходимо знать температуры поршня при различных режимах работы двигателя.

Измерение температуры поршня весьма сложно вследствие трудной доступности к поршню и большой скорости его движения. Анализ существующих методов измерения температуры поршней позволил предложить следующую классификацию (рис. 1).

Нами был выбран метод термопар с периодическим включением их в измерительную цепь. В качестве нуль-индикатора использовался электронный осциллограф [1].

При термометрировании поршней количество точек измерения обычно ограничивается возможностью размещения токосъемного устройства в двигателе. Поэтому привлекал к себе внимание способ включения термопар, при котором с целью сокращения пар контактов токосъема прибегают к объединению свободных концов термоэлектродов одной полярности. Концы электродов другой полярности присоединяют к отдельным контактам. Для отсчета показаний отдельных термопар присоединяют к измерительной цепи общий электрод и поочередно свободный электрод каждой термопары.

Однако, как показали опыты [2], при таком соединении термопар температура более холодных точек была завышенной, а более горячих — заниженной. Это результат влияния паразитных термо-

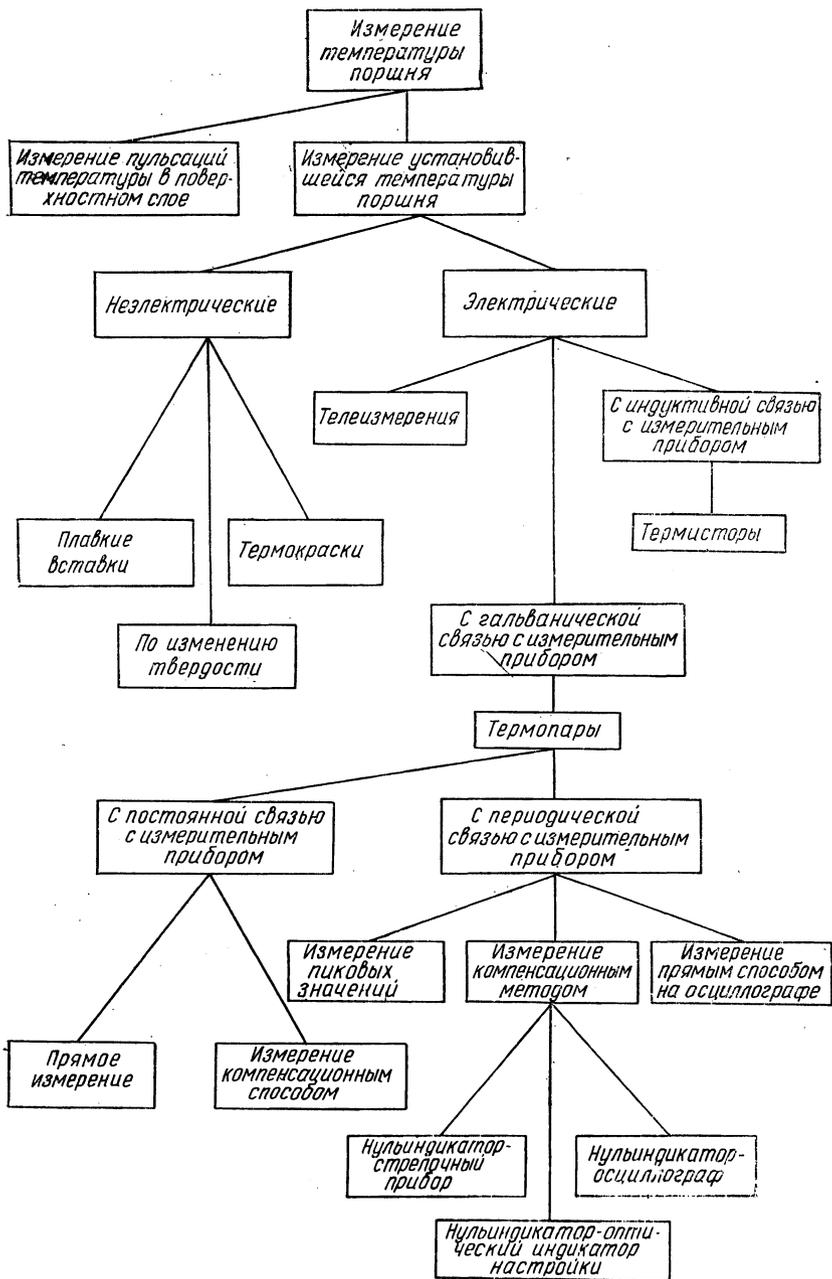


Рис. 1. Классификация методов измерения температуры поршней.

пар, образованных объединенными термоэлектродами с материалом поршня.

Объектом исследования является двигатель Д-50 Минского моторного завода — четырехтактный четырехцилиндровый вихрекамерный дизель водяного охлаждения, предназначенный для установки в качестве силового агрегата на тракторы класса 1,4 т и другие машины. Номинальная мощность двигателя 50 л. с. при 1600 об/мин.

Задачей работы являлось исследование зависимости температуры цилиндро-поршневой группы (поршня, головки блока цилиндров, гильзы) от режима работы двигателя.

С этой целью в поршне было установлено пять термопар в наиболее характерных точках (рис. 2): в центре лунки днища (точка 1), в центре днища (точка 2), на периферии днища по оси коленчатого вала (точка 3), на периферии днища со стороны, противоположной вихревой камере (точка 4), на боковой поверхности над верхним компрессионным кольцом со стороны вихревой камеры (точка 5).

В головке было установлено две термопары: в перемычке между вставкой вихревой камеры и впускным клапаном* (точка 6) и соответственно выпускным клапаном (точка 7). В гильзе термопары были установлены в наиболее нагретом верхнем бурте со стороны вихревой камеры (точка 8) и с противоположной стороны (точка 9).

Опыты проводились при двух различных углах опережения

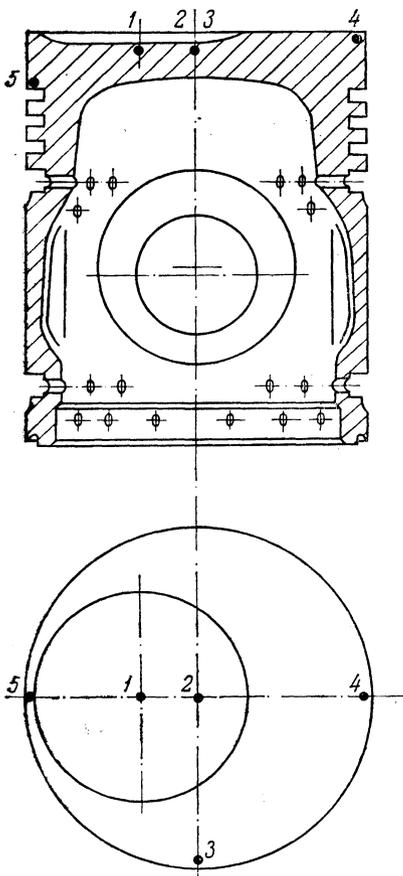


Рис. 2. Места заделки термопар в поршне из сплава АЛ-10В.

выпуска топлива. Было два комплекта поршней из разных материалов: из сплавов АЛ-10В и АЛ-25. Эти сплавы имеют разное содержание кремния и вследствие этого существенно отличаются

* Места установки термопар обозначены точками 6, 7, 8, 9, которые на рис. 2 не показаны.

друг от друга по своим физическим свойствам, поэтому очень важно знать различие их теплового состояния при одинаковых условиях работы.

Некоторые результаты исследований, касающихся теплового состояния деталей двигателя с поршнями из сплава АЛ-10В, были опубликованы ранее [3].

1. Зависимость температуры деталей от нагрузки при постоянном числе оборотов. С увеличением нагрузки возрастает цикловая подача топлива, и таким образом увеличивается количество топлива, сгорающего в единицу времени, и соответственно увеличивается количество тепла, которое передается стенкам цилиндра. Поэтому температура деталей повышается. Как показали опыты, с увеличением нагрузки при номинальном числе оборотов температура деталей возрастает практически по линейному закону.

При изменении среднего эффективного давления p_e от 0,97 до 7,25 кг/см² ($N_e = 61$ л. с.) температура деталей двигателя с поршнями из сплава АЛ-10В возрастает так:

поршень: центр лунки днища (точка 1) — со 182 до 295°C; центр днища (точка 2) — со 187 до 302°C; периферия днища по оси коленчатого вала (точка 3) — со 159 до 227°C; периферия днища со стороны, противоположной вихревой камере (точка 4), — со 161 до 236°C; над верхним компрессионным кольцом со стороны вихревой камеры (точка 5) — со 173 до 259°C;

головка: в перемычке между вставкой вихревой камеры и впускным клапаном (точка 6) — со 196 до 286°C; в перемычке между вставкой вихревой камеры и выпускным клапаном (точка 7) — со 190 до 284°C;

гильза: в верхнем бурте со стороны вставки вихревой камеры (точка 8) — со 161 до 240°C; с противоположной стороны (точка 9) — со 112 до 145°C.

Из деталей, образующих рабочий объем цилиндра, минимальную температуру имеет гильза, максимальную — поршень. При этом в верхнем бурте гильзы по диаметру имеет место значительный перепад температур (около 85°C) между точкой со стороны вихревой камеры и диаметрально противоположной. Такую разность температур можно объяснить местным перегревом в зоне вставки вихревой камеры, имеющей температуру порядка 600—700°C.

2. Зависимость температуры деталей от числа оборотов при постоянном крутящем моменте. С возрастанием числа оборотов возрастает количество тепла, передающегося стенкам в единицу времени, вследствие увеличения частоты циклов. Следовательно, с ростом числа оборотов возрастает и температура деталей.

Зависимость температуры деталей от числа оборотов при постоянном крутящем моменте является линейной на всем диапазоне их изменения.

При возрастании числа оборотов от 1100 до 1950 об/мин, когда была достигнута эффективная мощность 60,2 л. с., температура деталей изменилась следующим образом:

поршень: точка 1—с 232 до 291°C; точка 2—с 241 до 297°C; точка 3—со 184 до 224°C; точка 4—со 193 до 242°C;

головка: точка 6—с 236 до 302°C; точка 7—с 224 до 299°C; гильза: точка 8—со 188 до 242°C; точка 9—со 122 до 143°C.

3. *Зависимость температуры деталей от нагрузки и числа оборотов при работе по регуляторной характеристике.* При работе двигателя по регуляторной характеристике изменение температуры деталей, образующих рабочий объем цилиндра, находится в строгой зависимости от изменения мощности. Максимум температур при этом отмечается не в режиме максимального крутящего момента, а в режиме максимальной мощности. Это следует объяснить тем, что в режиме максимальной мощности по сравнению с режимом максимального крутящего момента число оборотов и часовой расход топлива выше.

4. *Зависимость температуры деталей от интенсивности охлаждения двигателя.* При повышении температуры охлаждающей воды температура деталей возрастает.

Исследования показали, что эта зависимость линейная. С повышением температуры охлаждающей воды на 30° (с 59 до 89°C) при постоянной мощности (49,25 л. с.) и числе оборотов 1600 об/мин температура деталей возросла следующим образом:

поршень: точка 1—с 249 до 273°C; точка 2—с 259 до 285°C; точка 3—со 193 до 219°C; точка 4—со 197 до 225°C;

головка: точка 6—с 242 до 271°C; точка 7—с 233 до 269°C;

гильза: точка 8—со 196 до 237°C; точка 9—со 109 до 142°C.

Перепад температуры охлаждающей воды на входе и выходе из двигателя определялся по показаниям двух ртутных термометров и составлял 4—5°C.

Таким образом, повышение температуры поршня составляет 0,8—0,85, а головки и гильзы 1—1,2 градуса на градус повышения температуры охлаждающей воды, т. е. температура воды оказывает большее влияние на температуру деталей, непосредственно омываемых водой (головка, гильза), и меньшее — на температуру поршня.

5. *Влияние угла опережения впрыска топлива.* Все приведенные данные были получены при угле опережения подачи топлива, равном 17° до верхней мертвой точки. При уменьшении угла опережения впрыска до 13° температуры деталей несколько снизились (центра днища поршня и головки — на 22, а гильзы — на 7—10°C), несмотря на то что температура выхлопных газов возросла. Объясняется это так: при большем угле опережения возрастает максимальное давление и температура цикла, что приводит

к увеличению теплоотдачи от газов к стенкам и, следовательно, к возрастанию температуры деталей, соприкасающихся с газами.

Распределение температуры по окружности днища поршня из сплава АЛ-10В при 1600 об/мин для случая угла опережения впрыска, равного 17° , показано на рис. 3. Как видно, температура по днищу поршня распределена неравномерно. Местный перегрев в районе точки 5 (см. рис. 2) объясняется тем, что в этой зоне находится выход из тангенциального канала вставки вихревой камеры (показана штрих-пунктирной линией).

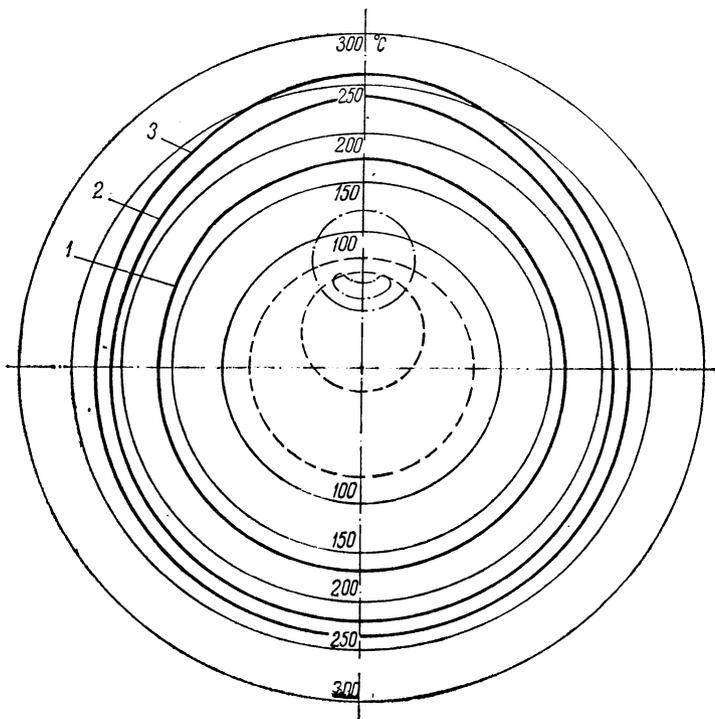


Рис. 3. Распределение температуры по окружности днища поршня из сплава АЛ-10В:

1 — $p_e = 0,98$; 2 — $p_e = 5,92$; 3 — $p_e = 7,25 \text{ кг/см}^2$.

6. Влияние материала поршня. При исследовании двигателя с поршнями из сплава АЛ-25 в поршне, геометрические размеры которого полностью идентичны размерам поршня из сплава АЛ-10В, было заделано четыре термомпары. Столько же термомпар было установлено в верхнем бурте гильзы по его окружности на равных расстояниях.

Как показали опыты, при изменении нагрузки p_e от 0,97 до 7,25 кг/см² при 1600 об/мин температура деталей возросла следующим образом:

поршень: центр лунки днища (точка 1) — со 198 до 314°C; периферия днища со стороны вставки вихревой камеры (точка 2) — со 188 до 305°C; канавка верхнего компрессионного кольца (точка 3) — со 161 до 252°C; периферия днища со стороны, противоположной вихревой камере (точка 4), — со 168 до 269°C;

гильза: точка 5 — по оси коленчатого вала со стороны IV цилиндра — со 112 до 205°C; точка 6 со стороны вставки вихревой камеры — со 159 до 265°C; точка 7 по оси коленчатого вала со стороны II цилиндра — со 105 до 187°C; точка 8 со стороны, противоположной вставке вихревой камеры, — со 105 до 187°C.

Зависимость температуры деталей от нагрузки в этом случае так же, как и в двигателе с поршнями из сплава АЛ-10В, является линейной.

С увеличением числа оборотов температуры деталей также возрастают линейно. При увеличении числа оборотов от 1100 до 2100 об/мин ($N_e = 65,0$ л. с.) температура деталей изменилась следующим образом:

поршень: точка 2 — с 245 до 329°C; точка 3 — с 200 до 258°C;

гильза: точка 5 — со 155 до 210°C; точка 6 — с 211 до 296°C; точки 7 и 8 — со 148 до 199°C.

Точки 1 и 4 в поршнях из сплава АЛ-10В и АЛ-25 совершенно идентичны. Исследования показали, что температура поршня из сплава АЛ-25 на 15—20° выше температуры поршня из сплава АЛ-10В на одинаковых режимах. Это можно объяснить тем, что поршень из сплава АЛ-25, отличающегося повышенным содержанием кремния (11% вместо 5 в сплаве АЛ-10В), обладает меньшей теплопроводностью. Следует отметить, что поршень из сплава АЛ-25 более жаростойкий.

Исследования теплового состояния гильзы подтвердили наличие высокого перепада температуры по окружности верхнего бурта. На рис. 4 показано распределение температуры по окружности гильзы. Температуры измерены на номинальном числе оборотов при различных значениях p_e . Как видно, распределение температуры в верхнем бурте гильзы неравномерно.

Измерения температуры выхлопных газов непосредственно у выпускных клапанов каждого цилиндра, проводившиеся с целью определения равномерности работы двигателя по цилиндрам, показали, что температура выхлопных газов отдельных цилиндров различается не более чем на 30—40°. Наиболее нагруженным цилиндром является третий (тот, тепловое состояние деталей которого исследовалось), наименее нагруженным — второй. Температура выхлопных газов, измеренная за коллектором, оказалась

выше среднеарифметической температуры, измеренной у клапанов отдельных цилиндров.

В результате исследований установлено, что форсирование двигателя без превышения максимально допустимой (с точки зрения механической прочности материала) температуры поршня ($350\text{--}370^\circ\text{C}$) возможно по нагрузке до $p_e = 9,0 \text{ кг/см}^2$ при номи-

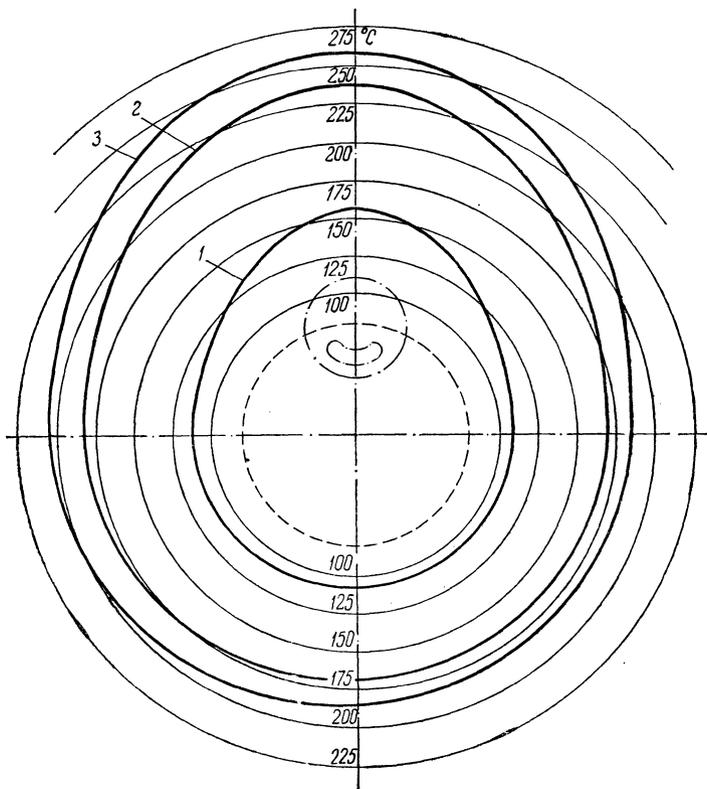


Рис. 4. Распределение температуры по окружности гильзы цилиндра:

1 — $p_e = 0,98$; 2 — $p_e = 5,92$; 3 — $p_e = 7,25 \text{ кг/см}^2$

нальном числе оборотов (1600 об/мин) или по числу оборотов до 2250 об/мин при среднем эффективном давлении, близком к номинальному ($5,84 \text{ кг/см}^2$). Однако при форсировании двигателя по нагрузке до $p_e = 8,0 \text{ кг/см}^2$ при номинальном числе оборотов (1600 об/мин) без наддува или по числу оборотов до 2100 об/мин при среднем эффективном давлении, близком к номинальному

($5,84 \text{ кг/см}^2$), температура в зоне верхнего компрессионного кольца достигает таких величин ($250\text{—}260^\circ\text{C}$), при которых возможно закоксовывание и залегание колец.

Л и т е р а т у р а

1. Волчок Л. Я., Эсаулов Н. Г. Измерение температуры поршней двигателей внутреннего сгорания. Тр. ЦНИДИ, вып. 28, 1955. 2. Волчок Л. Я., Адамов В. М. К вопросу об измерении температуры движущихся деталей машин. «Изв. вузов СССР. Энергетика», 1967, № 9. 3. Адамов В. М. Тепловое состояние некоторых деталей двигателя Д-50. «Промышленность Белоруссии», 1966, № 6.