

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ДНИЩА ПОРШНЯ ДИЗЕЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ФОРМЫ И ХАРАКТЕРА ДВИЖЕНИЯ СТРУИ ОХЛАЖДАЮЩЕГО МАСЛА**

*Е.А. Лазарев*

## **EFFICIENCY UPGRADING OF COOLING OF A PISTON TOP OF A DIESEL ENGINE BY MEANS OF SHAPE TRANSFORMATION AND MOVEMENT CHARACTER OF A COOLING OIL JET**

*E.A. Lazarev*

**Рассмотрены факторы, влияющие на эффективность охлаждения поршня масляным орошением внутреннего днища. Для повышения эффективности рекомендована интенсификация теплообмена на поверхности днища за счет преобразования формы и характера движения струи охлаждающего масла с помощью специальной вставки.**

*Ключевые слова: поршень, температура, охлаждение, особенности движения струи масла.*

**The factors which influence on efficiency of a piston cooling by means of oil irrigation of an inner bottom are considered. To increase the efficiency the heat transfer enhancement on the piston top by means of shape transformation and character of movement of cooling oil jet using a special insert is suggested.**

*Keywords: piston, temperature, cooling, peculiarities of oil jet movement.*

Среди относительно простых способов снижения тепловой нагруженности поршней форсированных дизелей широко используется струйное охлаждение внутреннего днища маслом, непрерывно истекающим из сопла неподвижной форсунки. Форсунка соединена с главной масляной магистралью системы смазки дизеля. Недостатками такого способа охлаждения поршня являются локализация охлаждаемой области, вследствие сосредоточенного контактирования струи с поверхностью внутреннего днища, высокий уровень потерь охлаждающего масла из-за отражения струи при ударе о поверхность с последующим сливом в картер дизеля и ограниченное время соприкосновения масла с поверхностью внутреннего днища.

В целях повышения эффективности струйного охлаждения необходимо увеличить поверхность днища, омываемого маслом, и создать направленное движение масла вдоль этой поверхности и одновременно увеличить время контактирования. Для этого целесообразно образование под внутренним днищем поршня плоского канала охлаждения, формирующего поток масла в виде пленки определенной толщины с развитой охлаждающей граничной поверхностью. Это снижает потери масла, участвующего в процессе теплообмена, и обеспечивает его равномерное распределение по омываемой поверхности внутреннего днища поршня.

Указанное достигается постановкой специальной вставки 1 под внутреннее днище 2 поршня, повторяющей форму днища и стенок 3 и образующую с поверхностью днища канал охлаждения 4, постоянного сечения в продольном направлении с высотой  $h$  (рис. 1, а, б). Стенки 12 вставки опираются посредством отверстий 13 на поршневой палец. Направляющие 9 вставки отогнуты в сторону сопла, образуя со стенками поршня входной 11 конфузорный и выходной диффузорный каналы. Масляная струя 10, истекая из сопла 5 (с внутренним диаметром  $d_c$ , равным 2,0 мм) неподвижной форсунки, попадает во входной конфузорный канал, далее в охлаждающий канал и стекает в картер через выходной диффузорный канал. При этом форма поперечного сечения струи преобразуется, приобретая плоскую прямоугольную форму поперечного сечения канала с высотой  $h$ .

Для обеспечения эффективной работы рассматриваемого устройства выполнена оптимизация высоты  $h$  канала с использованием разработанной в этих целях модельной установки (рис. 2, г). В верхней части модельного поршня 17 укреплено прозрачное стекло 16, через которое наблюдалось движение масла в канале охлаждения и оценивалась в статике доля  $F_M$  омываемой верхней поверхности канала. Одновременно с использованием устройства сбора 21 масла, прошедшего через канал, в емкость 19 и секундомера 20 определялся расход  $G_M$  масла в канале при различных значениях его высоты  $h$ .

Установлено, что с увеличением  $h$  уменьшается омываемая поверхность внутреннего днища поршня и повышается расход масла в канале (рис.2, в). Изменяется и характер его циркуляции. При уменьшении высоты канала ослабевают вихревые токи и обратные течения в потоке масла и характер его циркуляции напоминает ламинарное движение. Оптимальная величина  $h_{\text{опт}}$  установлена на компромиссной основе в результате анализа изменения расхода охлаждающего масла  $G_M$  и поверхности теплообмена  $F_M$ . При этом преследовалась цель обеспечения наибольшей эффективности теплообмена между поршнем и охлаждающим маслом. Значение  $h_{\text{опт}}$  составляет 1...2 внутреннего диаметра  $d_c$  сопла 5.

Ограничить высоту  $h$  канала необходимо для обеспечения при заданном давлении максимального расхода масла. Уменьшение высоты  $h$  сопровождается увеличением гидравлического сопротивления за счет роста профильных потерь трения. Чрезмерное увеличение высоты  $h$ , помимо снижения площади омываемой поверхности днища, приводит к увеличению гидравлического сопротивления за счет появления колебательной составляющей скорости потока масла в поперечном направлении под действием инерционных сил перемещения поршня.

При частичном заполнении канала охлаждения на характер циркуляции масла, зависящий от инерционных сил, формы поперечного сечения, условий подачи и слива, наибольшее влияние

оказывает движение поршня. Можно предположить, что движение масла в канале охлаждения поршня подчиняется законам механики твердого тела, о чем свидетельствуют кадры скоростной киносъемки, выполненные специалистами фирмы Fata (Италия). При частичном заполнении масло попеременно омывает верхнюю и нижнюю поверхности канала в зависимости от направления движения поршня. В этом случае в теплообмене участвует не вся поверхность канала охлаждения, а лишь та часть, которая омывается маслом. Большую часть хода поршня масло оказывается

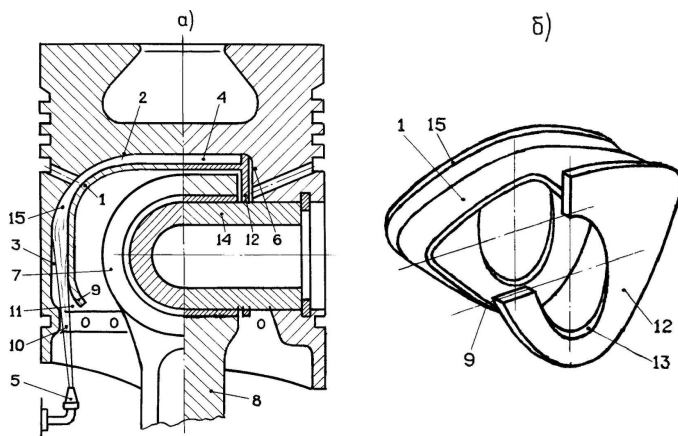


Рис. 1. Струйное охлаждение поршня (а) повышенной эффективности в канале, образованном внутренним днищем и специальной вставкой (б)

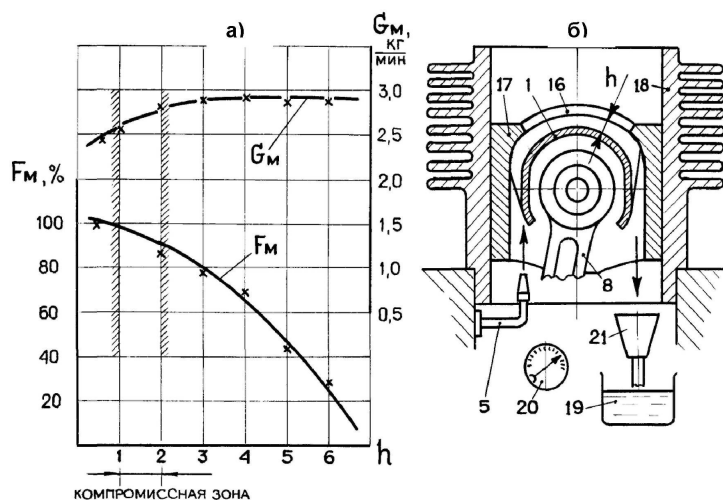


Рис. 2. Зависимости расхода охлаждающего масла и доли омываемой маслом поверхности внутреннего днища поршня от высоты  $h$  канала (а), определенные при испытании модели (б) ( $d_c=2$  мм,  $P_M=0,25$  МПа,  $t_M=90$  °С)

прижатом к той или иной части поверхности и лишь вблизи ВМТ и НМТ происходит смена положения масла в канале. При заданной форме поперечного сечения канала охлаждения величина на поверхности, омываемой маслом, зависит от степени его заполнения. Степень заполнения канала охлаждения оказывает влияние на коэффициент теплоотдачи от поршня к маслу. Величина поверхности канала, омываемой маслом, зависит от его расхода, значение которого также определяет степень заполнения канала. При выборе высоты  $h$  авторы преследовали цель обеспечить полное заполнение канала.

Эффективность струйного масляного охлаждения для снижения тепловой нагруженности поршня оценивалась экспериментально в одноцилиндровом отсеке дизеля 8ЧН 15/16 воздушного охлаждения при работе с двумя типами камер сгорания по нагрузочным характеристикам с частотой вращения коленчатого вала  $n=1700 \text{ мин}^{-1}$ . Температурное состояние определялось с использованием прерывистого токосъемного устройства и хромель-копелевых термопар, установленных в 8-ми характерных точках исследуемых поршней.

Результаты испытаний (рис. 3) показывают, что наибольшие абсолютный уровень и градиент температур в головке поршня наблюдаются при использовании камеры сгорания типа ЦНИДИ. Максимальные значения температур имеют место на кромке горловины камеры сгорания и составляют 330...350 °С. При использовании камеры сгорания типа ЯМЗ эти температуры равны 290...305 °С. Разность температур между кромкой горловины и днищем камеры сгорания в поршне с камерой сгорания типа ЦНИДИ составляет 130...150 °С, а в поршне с камерой сгорания типа ЯМЗ - 20...35 °С. При этом абсолютное значение температуры днища камеры сгорания типа ЦНИДИ составляет 200 °С, а камеры сгорания типа ЯМЗ - 270 °С.

При использовании камеры сгорания типа ЯМЗ температурное поле головки поршня более равномерное, чем в поршне с камерой сгорания типа ЦНИДИ.

Отсюда следует важный вывод о необходимости (в целях выравнивания температурного поля и снижения температурных градиентов) локального охлаждения области кромок горловины камеры сгорания типа ЦНИДИ.

При анализе характера изменения температуры поршней с изменением нагрузки дизеля замечена большая чувствительность температурного состояния кромки горловины в поршне с камерой сгорания типа ЦНИДИ. Изменение среднего эффективного давления  $P_e$  от 0,9 МПа до 0,3 МПа сопровождается уменьшением температуры кромки горловины камеры сгорания типа ЦНИДИ на 120 °С, а камеры сгорания типа ЯМЗ - на 110 °С. Иное изменение температур наблюдается в других областях поршней. При аналогичном изменении нагрузки температура области верхнего компрессионного кольца снижается у поршня с камерами сгорания типа ЦНИДИ и ЯМЗ соответственно на 70 °С и на 80 °С. На днище камер сгорания типа ЦНИДИ и ЯМЗ температура в этих условиях снижается на 70 °С и на 80 °С. Чем дальше удалены характерные точки от огневой поверхности днища поршня, тем более чувствительно к нагрузке температурное состояние поршня с камерой сгорания типа ЯМЗ.

Использование вставки для интенсификация теплообмена на внутренней поверхности поршня в дизеле преобразованием формы и характера движения струи охлаждающего масла снижает температуры кромок горловины камер сгорания типа ЦНИДИ и ЯМЗ на  $\Delta t_{2п} = 20...25$  °С и температуры области верхнего компрессионного кольца - на  $\Delta t_{4п} = 15...18$  °С. Снижаются температуры и в других характерных точках исследуемых поршней. Однако на характер изменения температуры поршней в зависимости от нагрузки применение рассматриваемого способа охлаждения поршня практически не влияет.

Достигнутое повышение эффективности струйного масляного охлаждения поршня не решает радикально проблему тепловой нагруженности, в частности поршней с торообразной камерой сгорания типа ЦНИДИ, но может быть полезно для поршней с камерой сгорания типа ЯМЗ и ей подобными.

Современные требования к надежности дизелей с торообразной камерой сгорания типа ЦНИДИ заставляют изыскивать способы снижения тепловой нагруженности более высокой эффективности. Одним из таких способов является галерейное масляное охлаждение, реализующее концепцию локального охлаждения наиболее нагруженных в температурном отношении элементов, например острой кромки горловины камеры сгорания. Этот способ широко распространен за рубежом в дизелях повышенного форсирования.

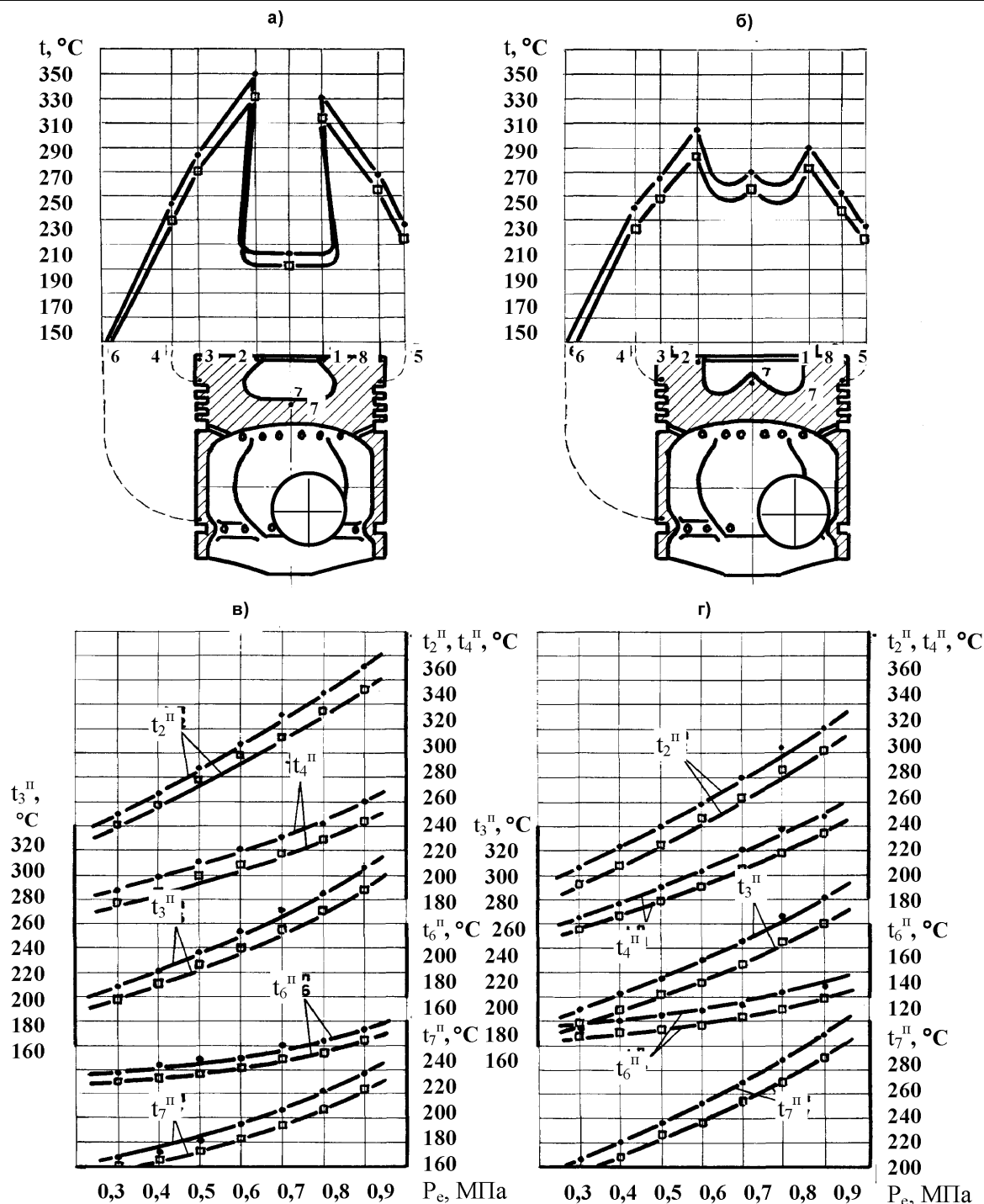


Рис. 3. Температуры поршней при  $P_e = 0,80 \text{ МПа}$  и  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$  и зависимость их от нагрузки при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$  дизеля 8ЧН 15/16 с камерами сгорания: (а), (в) – ЦНИДИ; (б), (г) – ЯМЗ; – • – без вставкой; – □ – со вставкой

Поступила в редакцию 20 мая 2008 г.

**Лазарев Евгений Анатольевич.** Доктор технических наук, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов: исследование и моделирование процессов в поршневых двигателях внутреннего сгорания.

**Lazarev Evgeny Anatolevich.** Dr.Sc. (Engineering), Professor of the Internal Combustion Engines Department of the South Ural State University. Professional interests: research and modeling of the processes in the internal combustion piston engines.