

Анализ причин отрыва масляной пленки с внутренней поверхности поршня при струйном охлаждении

77-30569/354225

04, апрель 2012

Мягков Л. Л., Михайлов Ю. В.

УДК 621.432

МГТУ им. Баумана

mll-08@mail.ru

Для обеспечения безотказной работы двигателя в течение заданного ресурса, необходимо, чтобы температуры поршней в критических зонах были гарантированно ниже допустимых пределов. Поэтому подавляющее большинство современных двигателей имеет систему принудительного масляного охлаждения поршней.

При использовании струйного охлаждения важно обеспечить непрерывную и достаточную для интенсивного теплоотвода подачу масла к внутренней поверхности поршня. Целью данной работы является анализ обтекания охлаждаемой поверхности поршня масляной пленкой, что позволит выявить факторы, определяющие интенсивность теплоотдачи. Для проведения такого анализа требуется моделирование нестационарной гидродинамики взаимодействия струи масла с поршнем. При решении этой задачи используется методика численного моделирования струйного охлаждения, разработанная в [1], которая подразумевает решение системы уравнений неразрывности, движения и энергии в программном комплексе ANSYS CFX. Система дополняется уравнениями двухзонной модели турбулентности SST [2]. Течение потока масла по поверхности поршня описывается при помощи модели течения со свободной поверхностью, для которой используется методика определения границы раздела сред [3]. Явления, связанные с поверхностным натяжением, описываются при помощи модели непрерывной поверхностной силы (CFS) [4].

Адекватность этой методики проверялась на основе экспериментальных данных [5]. На рис. 1 показан эскиз модельного элемента, выполнявшего в экспериментах функции поршня, использование которого обусловлено необходимостью производить скоростную фотосъемку и измерение температур.

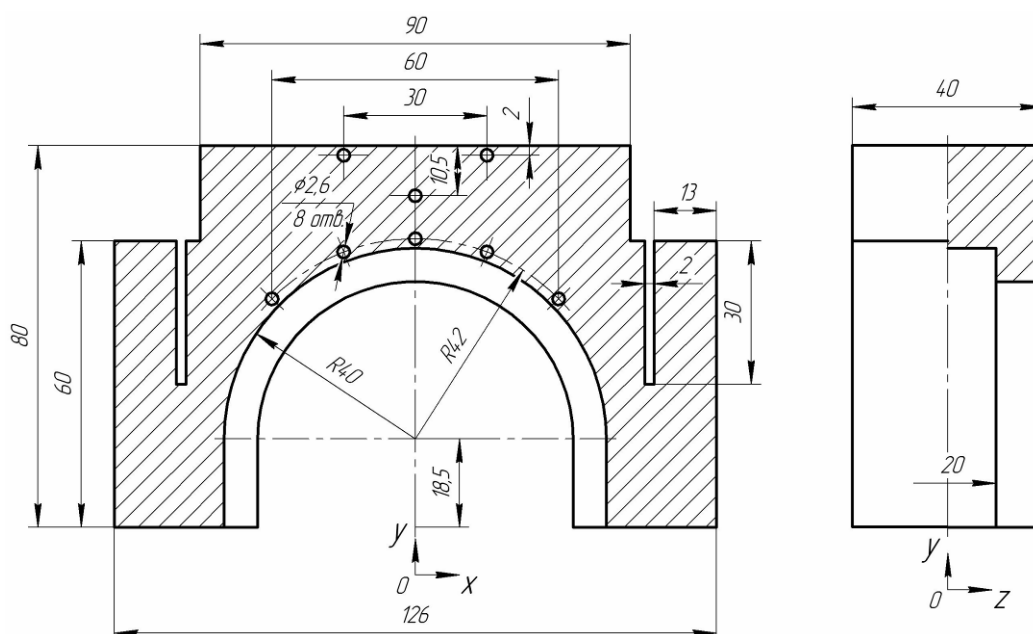


Рис. 1. Эскиз модельного элемента

Расчетная модель и сетка, представленная на рис. 2, использовалась как при верификации методики [1], так и в данной работе для расчета нестационарной гидродинамики течения масляной пленки в течении одного оборота коленчатого вала с шагом 1° .

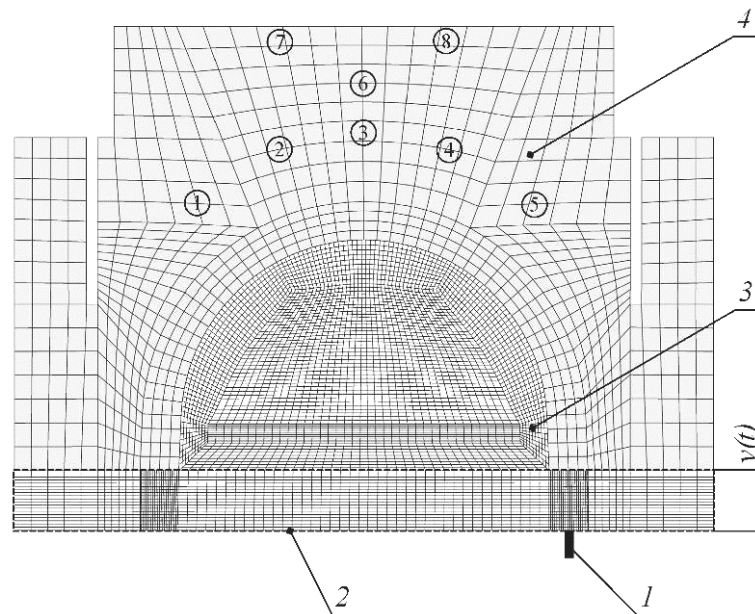


Рис. 2. Расчетная модель: (1) - форсунка; (2) –деформируемая сетка;
(3) – перемещающаяся сетка; (4) – модельный элемент

Характерная картина отрыва масляной пленки от внутренней поверхности поршня при $\varphi = 180^\circ$ УПКВ показана на рис. 3.

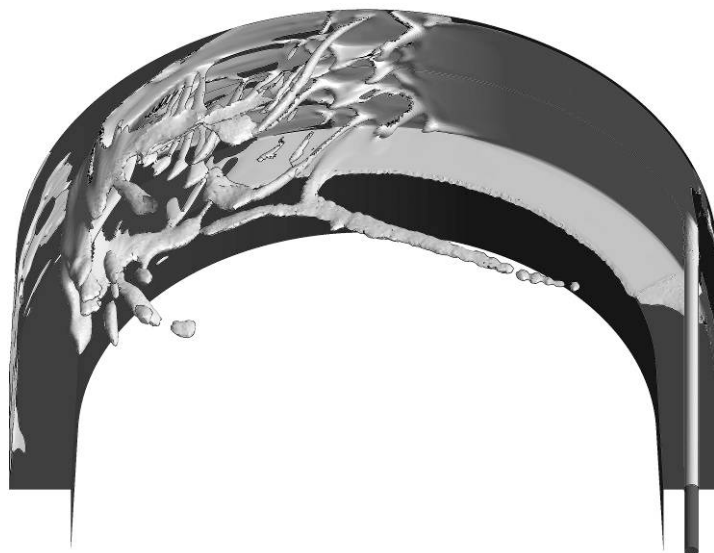


Рис. 3. Гидродинамическая картина течения масла по охлаждаемой поверхности.

$$n = 1000 \text{ об/мин}, G = 60 \text{ л/ч}, \varphi = 180^\circ \text{ УПКВ}$$

При рассмотрении результатов нестационарного расчета сделаны следующие наблюдения: при движении поршня от верхней мертвой точки (ВМТ) к нижней

мертвой точке (НМТ) - от 0° до 160° угла поворота коленчатого вала (УПКВ) - вследствие увеличения относительная скорость струи, нарастающий фронт потока масла обтекает внутреннюю поверхность поршня. Далее от 160° до 180° УПКВ заторможенная часть потока, исчерпав запас кинетической энергии, срывается с поверхности под действием силы тяжести (см. рис. 3). Затем при движении поршня от НМТ к ВМТ относительная скорость струи уменьшается, и под действием сил инерции, возникающих из-за смены направления движения поршня, вплоть до 270° УПКВ происходит отрыв некоторой части масляной пленки. На охлаждаемой поверхности пленка остается только вблизи точки торможения струи. При повороте коленчатого вала от 270° до 360° поршень замедляется, и масло распространяется вдоль по поверхности.

Описанная картина течения может меняться в сторону увеличения или уменьшения объема масла, движущегося по поверхности поршня, в зависимости от соотношения частоты вращения коленчатого вала и расхода масла через форсунку, т.е. наибольшее влияние на характер течения масляной пленки по охлаждаемой поверхности оказывает относительная скорость струи: $v_{отн}(\varphi) = v_n(\varphi) + v_0$, где $v_n(\varphi)$ - скорость поршня, v_0 - скорость струи на срезе сопла. На рис. 4 представлены графики изменения $v_{отн}(\varphi)$ для различных частот вращения коленчатого вала при фиксированном расходе масла через форсунку, при котором $v_0 = 8,3$ м/с.

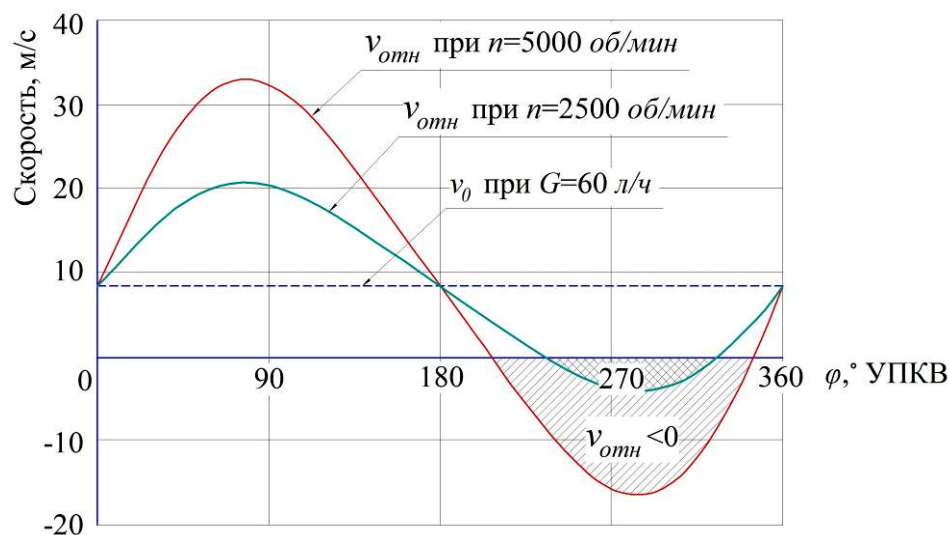


Рис. 4. Относительная скорость струи в зависимости от частоты вращения коленчатого вала

Если $v_{отн}(\varphi) > 0$, то в течение всего оборота коленчатого вала происходит непрерывное охлаждение поршня маслом. Величина коэффициента теплоотдачи и закон ее изменения зависит от величины и закона изменения относительной скорости струи. В некоторой степени на значение коэффициента теплоотдачи влияют геометрические параметры: длина и кривизна внутренней поверхности поршня, что сказывается на характеристиках торможения потока масла.

При $v_{отн}(\varphi) < 0$ поршень некоторое время не охлаждается при движении от НМТ к ВМТ. Оценку продолжительности отсутствия охлаждения поршня можно произвести при помощи графика перемещения поршня и отложенной на нем прямой, соответствующей расстоянию, пройденному струей, как показано на рис. 5. Струя не взаимодействует с поршнем от точки a_1 до точки b_1 в случае $n = 2500$ об/мин и от точки a_2 до точки b_2 в случае $n = 5000$ об/мин. В данный промежуток времени на поверхности поршня находится некоторое количество масла, удерживаемой силами поверхностного натяжения.

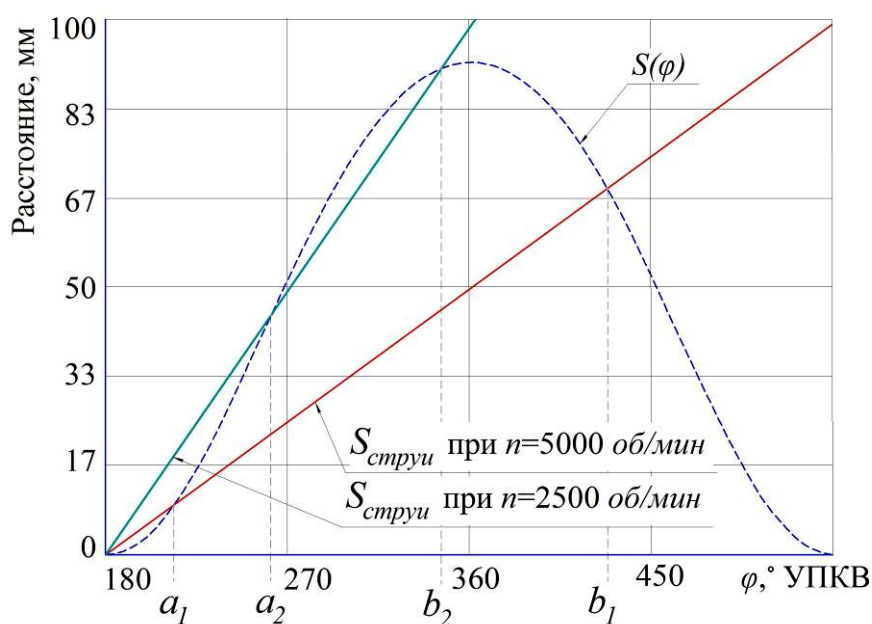


Рис. 5. График для определения интервала времени, в течение которого отсутствует охлаждение

В тоже время при движении поршня от ВМТ к НМТ максимальное значение коэффициента теплоотдачи увеличивается пропорционально увеличению относительной скорости струи (рис. 6).

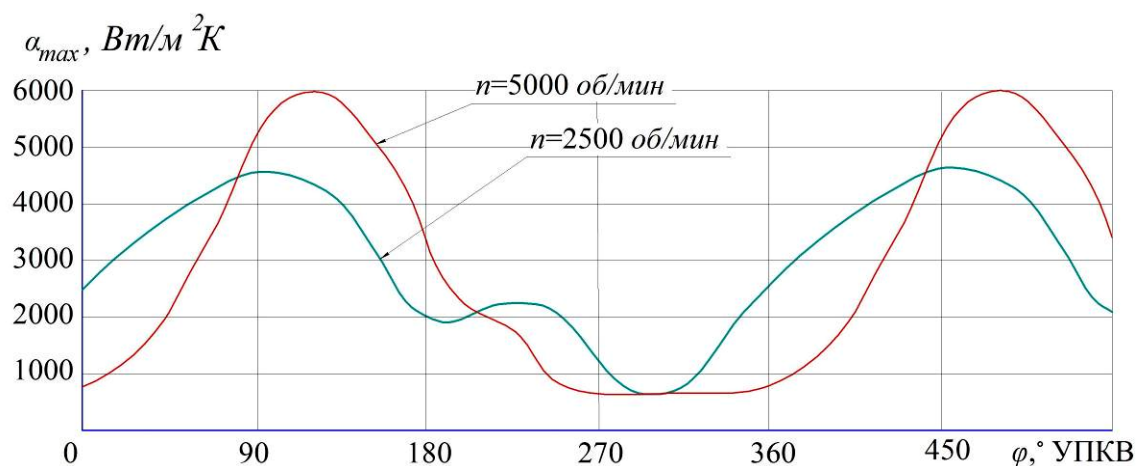


Рис. 6. Зависимость коэффициента теплоотдачи от угла поворота коленчатого вала

Таким образом, осредненное по охлаждаемой поверхности значение коэффициента теплоотдачи увеличивается до тех пор, пока локальная интенсификация преобладает над снижением теплоотвода, из-за отрыва масляной пленки. Наилучшая эффективность струйного охлаждения поршня достигается при условии, что начальная скорость струи на срезе сопла больше максимальной скорости поршня.

Литература

1. Чайнов Н.Д., Мягков Л.Л., Михайлов Ю.В. Численное исследование струйного охлаждения поршней ДВС // Двигателестроение. — 2011. — № 2. — С. 12–16.
2. Menter F.R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications // AIAA-Journal. -1994. -Vol. 32(8), P.1598 - 1605.
3. Zwart P.J. Numerical Modelling of Free Surface and Cavitating Flows // VKI Lecture. Series: Industrial Two-Phase Flow CFD. -2005.
4. Brackbill J.U., Kothe D.B., Zemach C. A Continuum Method for Modelling Surface Tension // Journal of Computational Physics. -1992. -Vol. 100, P.335-354.
5. Кареньков А.В. Влияния интенсивности масляного охлаждения на тепловое состояние поршней ДВС. – М.: Дис. ...к.т.н., 2006. – 123 с.

Analysis of oil film separation from underside of piston cooled with impinging jet

77-30569/354225

04, April 2012

Myagkov L.L., Mihailov Yu.V.

Bauman Moscow State Technical University

mll-08@mail.ru

In this article oil jet piston cooling efficiency is investigated. By means of numerical simulation non-stationary hydrodynamics and heat transfer problem was solved. The analysis of oil film flow on piston surface showed the regions of film separation. Heat transfer coefficient was highly affected by the relative jet speed. To obtain better efficiency of the piston cooling system it was necessary to keep the initial jet speed higher than the maximum speed of the piston.

Publications with keywords: [piston cooling](#), [computational hydrodynamics](#), [heat transfer intensification](#)

Publications with words: [piston cooling](#), [computational hydrodynamics](#), [heat transfer intensification](#)

References

1. Chainov N.D., Miagkov L.L., Mikhailov Iu.V. Chislennoe issledovanie struinogo okhlazhdeniia porshnei DVS [Numerical study of jet-cooled of pistons of internal combustion engines]. *Dvigatelistroenie*, 2011, no. 2, pp. 12–16.
2. Menter F.R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA-Journal*, 1994, vol. 32, no. 8, pp.1598 - 1605.
3. Zwart P.J. Numerical Modelling of Free Surface and Cavitating Flows. VKI *Lecture. Series: Industrial Two-Phase Flow CFD*, Brussels, Belgium, 2005, pp. 1–25.
4. Brackbill J.U., Kothe D.B., Zemach C. A Continuum Method for Modelling Surface Tension. *Journal of Computational Physics*, 1992, vol. 100, pp. 335-354.
5. Karen'kov A.V. Vliianiia intensivnosti maslianogo okhlazhdeniia na teplovoe sostoiianie porshnei DVS. *Kand. Diss.* [Effect of the intensity of the oil cooling on the thermal state of the piston internal combustion engines. Cand. diss.]. Moscow, 2006. 123 p.