

УДК 621.431.74.03-57

Шебанов А.Н., Богач В.М.
ОНМА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАСЛОПОДАЧИ ДВУХРЯДНОЙ ЛУБРИКАТОРНОЙ СИСТЕМОЙ С АККУМУЛИРОВАНИЕМ ДАВЛЕНИЯ МАСЛА

Одним из перспективных путей повышения эффективности организации процесса смазывания деталей ЦПГ является применение новых систем с электронным регулированием подачи масла и управлением работой системы посредством персональных компьютеров.

Однако создание и широкое использование таких систем ограничивается малой изученностью их эффективности и противоречивостью существующих данных об их эксплуатационной надежности, что в значительной степени затрудняет решение последующих вопросов совершенствования лубрикаторных систем.

С момента ввода в эксплуатацию на двигателях РТА применялась система смазывания цилиндров, во многом аналогичная используемой ранее на их предшественниках (двигателях RND). Подвод масла к штуцерам осуществлялся с помощью лубрикаторов имеющих механический привод. Системы такой конфигурации применяются на многих двигателях выпущенных в период с 1985 по 1995 г.г. и эксплуатируемых в настоящее время.

Эти системы имеют небольшие отличия от предшественников, однако не всегда положительные. Например, невозвратный клапан перемещен на максимальное удаление от зеркала цилиндра, что как правило ухудшает процесс маслоподачи, а штуцер имеет вид укороченного свертыша с длинным стержнем-вытеснителем. Кроме того как показывают ряд исследований аккумулятор наряду с положительным эффектом в таком исполнении далек от совершенства. Такие конструктивные особенности данной системы несомненно влияют на процесс маслоподачи и требуют внимательного изучения.

В начале 90-х годов появляется 2-х рядная система смазывания, причем с внешней стороны цилиндра штуцеры расположены в один ряд, а с внутренней имеется 2 ряда каналов и канавок (рис.1). Как видно из рис.1 а, подача масла к нижнему ряду осуществляется по довольно сложному пути – каналу z образной формы с 2 горизонтальными и одним вертикальным участками, такие каналы применялись ранее на двигателях фирмы MAN и как показывают исследова-

ния имеют очень существенные недостатки ухудшающие процесс маслоподачи.

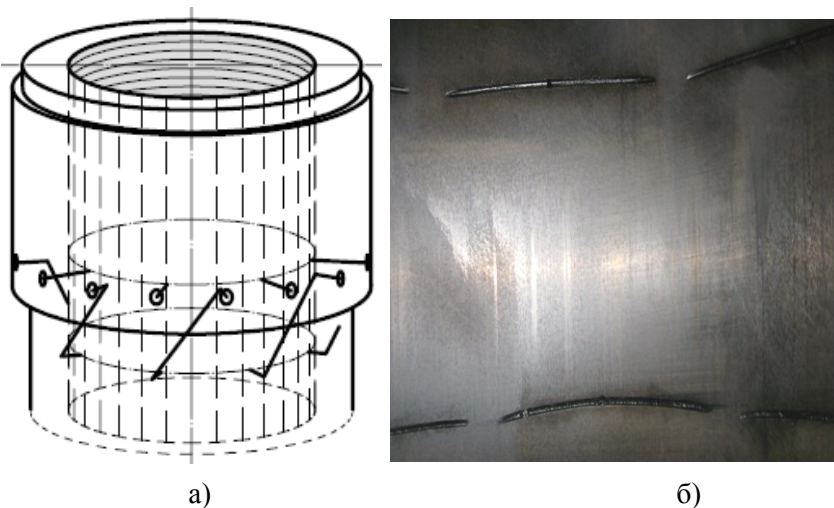


Рис.1. 2-х рядное расположение маслоподводящих каналов двигателей RTA: а – характер подвода масла к канавкам; б – расположение каналов на зеркале ЦВ

При этом подвод масла осуществляется посредством штуцеров с длинным корпусом (рис.2).

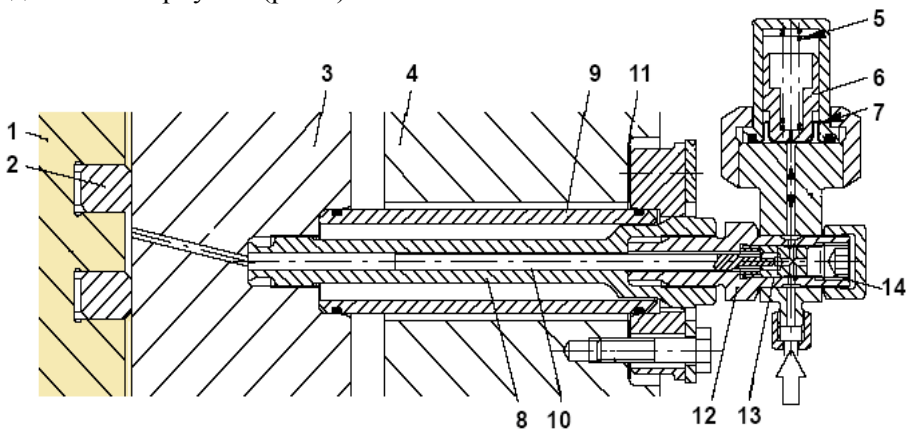


Рис.2. Составляющие 2-х рядной лубрикаторной системы двигателей RTA: 1-поршень двигателя; 2-поршневое кольцо; 3-цилиндрическая втулка; 4-рубашка; 5-пружина; 6-поршень аккумулятора; 7- мембрана; 8-корпус шту-

цера (длинный); 9-труба; 10-канал штуцера; 11-прокладка; 12- корпус штуцера (короткий); 13-шариковый клапан; 14-заглушка.

По всей видимости переход от короткого штуцера к длинному вызван чисто конструктивным исполнением рубашки цилиндра и опорного бурта ЦВ (рис.3), а не из соображений улучшения работы системы смазывания. Назовем ее **двухрядной лубрикаторной системой с аккумулярованием давления масла.**

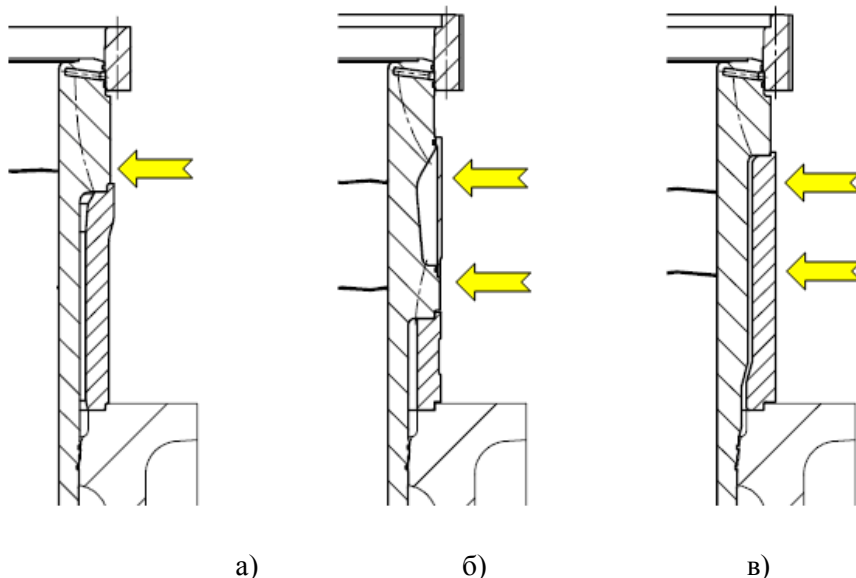


Рис.3. Различные варианты конструктивного исполнения ЦВ:

а) длинный бурт; б) короткий бурт вариант «А»; в) короткий бурт вариант «В»; (стрелками указаны места установки штуцеров).

Из двух рядов подвода масла верхний имеет незначительные отличия от описанного в предыдущем разделе и как показали исследования характеристики их процесса маслоподачи сходны, поэтому нет необходимости на них останавливаться. Что же касается нижнего ряда, то по своей конфигурации он очень отличается от применяемых ранее на двигателях «Зульцер», из за того что канал в стенке втулки имеет Z – образную форму.

Эти каналы имеют значительную длину, вследствие чего у рассматриваемых дизелей между зеркалом цилиндра и обратным клапаном заключена часть маслопровода, длина которой превышает 500 мм.

На этом участке имеются неоднородности в виде местных сужений и расширений, камер, наклонов, поворотов канала под углом до 90 град., кольцевой щели, вертикального участка и др.

Несмотря на гидравлическую сложность этой части нагнетательного тракта, отделяющей обратный клапан от зеркала, значительную длину и неизвестность происходящих в ней процессов, во всех предыдущих исследованиях периоды открытия обратного клапана отождествлены со временем поступления масла из отверстий на зеркало.

На основании периодов и частоты открытия обратного клапана сделано заключение, что за цикл маслоподачи (т.е. за промежуток между двумя рабочими ходами плунжера лубрикатора), поступления масла в цилиндр происходит всего на двух оборотах.

При этом, одни исследования утверждают, что выход масла на зеркало происходит между 110 и 290 град. п.к.в., т.е. когда поршень находится в районе НМТ, а другие считают, что масло поступает в цилиндр при нисходящем ходе поршня в тот период, когда компрессионные кольца пересекают пояс расположения маслоподводящих отверстий.

Противоречивость и ошибочность указанных утверждений обусловлены, прежде всего общей попыткой при анализе всех выполненных экспериментов определить поступление масла в цилиндр на основании перемещения клапана, без исследования процессов, определяющих механизм формирования и динамику истечения масла из отверстия на зеркале втулки.

В результате экспериментальных исследований нами установлено, что эти процессы возникают при работе двигателя, именно на не учитываемой ранее части нагнетательного тракта, т.е. на участке между обратным клапаном и зеркалом цилиндра.

Указанные исследования проведены в условиях, соответствующих работе системы на двигателе с частотой вращения коленчатого вала 75-185 мин⁻¹. Величина импульса давления на сжатии задавалась в пределах 0,8-1,6 МПа, а на расширении – 1,8-3,1 МПа. Ход плунжера лубрикатора изменялся от 4 до 9 мм. Влияние температуры масла в лубрикаторе изучалось для диапазона 25-40⁰С, а в штуцере – 70-150⁰С.

У двигателей РТА рассматриваемый участок канала в связи с особой его сложностью в значительно большей степени, чем у других двигателей, наполнен газами. При известном изменении давле-

ния у среза маслоподводящего отверстия и возникающем при этом попеременном сжатии и расширении газов в канале, в нем формируется возвратно-поступательное перемещение масла, сопровождающееся интенсивным перемешиванием его с газами.

Газо-масляная смесь, при падении давления у смазочных отверстий изнутри цилиндра, движется по каналу к зеркалу, получая при этом ускорение за счет энергии расширяющихся газовых пузырьков и подушек, замкнутых в канале.

Перед срезом канала на зеркале скорость достигает достаточно больших значений, при которых масло продолжает движение по оси выходного канала даже за его пределами (рис.4). Таким образом, происходит своеобразный «выброс», т.е. метание масла из канала расширяющимися в нем газами. Специальными измерениями установлено, что путем «выброса» за пределы канала поступает до 80% масла.

При этом, величина его изменяется в зависимости от значений эксплуатационных показателей работы двигателя.

В каждом промежутке между рабочими ходами плунжера лубрикатора «выброс» масла происходит несколько раз. При этом смена его формы имеет заметное чередование.

«Выброс» может быть струйным, как на кинокадрах рис.4. Эта форма характерна преимущественно для первой части цикла маслоподдачи. Затем «выброс» представляет собой в основном группу капель или единичные относительно крупные капли и, наконец – пучок достаточно распыленной газо-маслянной смеси.

Корень струи, который не отрывается от зеркала, формирует своеобразное сползание масла под отверстие и вертикальное стекание его по зеркалу. На нескольких оборотах поступление масла из отверстия может вообще отсутствовать.

Необходимо заметить, что описанные явления (несмотря на последовательную работу секций лубрикатора) происходит во всех маслоподводящих каналах одновременно, что обусловлено общим для всех каналов временем нарастания и падения импульсов давления газов изнутри цилиндра.

Различные периоды пополнения канала маслом, соответствующие очередности рабочих ходов плунжеров лубрикаторов, обуславливают лишь разницу в чередовании форм «выброса» или условную очередность пропуска поступления масла из отверстия.

Описанное выше чередование форм «выброса», промежутки между ними и перерывы в истечении масла из отверстий свидетельствуют о значительном опустошении канала после «выброса».

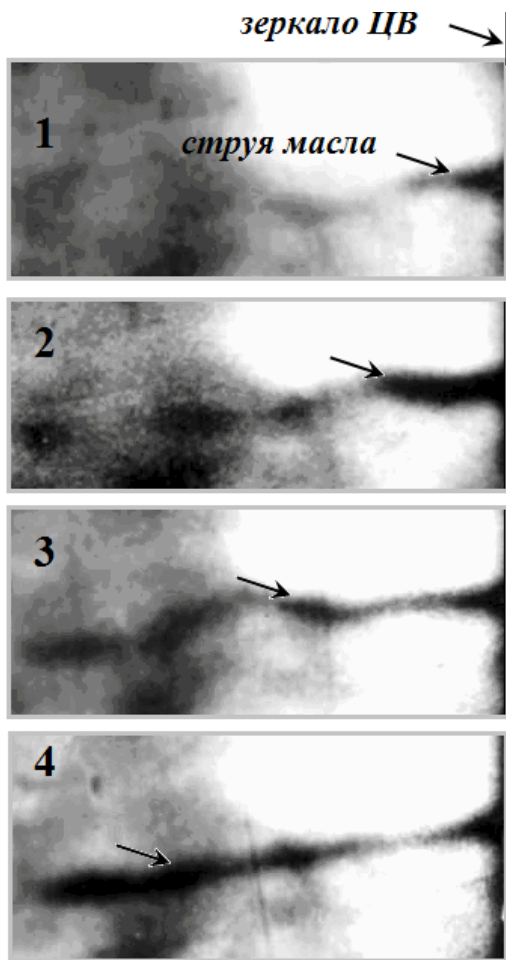


Рис.4. Кинокадры «выбросного» истечения масла

В результате исследований установлено, что после «выброса» в связи со значительным опустошением канала в период нарастания давления у смазочного отверстия и соответствующего этому движения масла по каналу от зеркала в глубь канала к обратному клапану, происходит существенное оголение стержня, размещенного в канал штуцера.

В эти периоды стержень достаточно быстро прогревается газами, входящими из цилиндра в канал и становится аккумулятором тепла, ускоряющим разложение масла в канале (которое происходит, прежде всего, на поверхности самого стержня).

На рис.5 приведен пример осциллограммы процесса маслоподачи с записью момента истечения масла за пределы канала. Из нее следует, что момент появления масла на срезе отверстия не имеет

прямой связи с нагнетательным ходом плунжера лубрикатора и открытием обратного клапана.

Истечение масла (линия Мв) в цилиндр двигателя происходит как при неподвижном плунжере (линия Хп), так и при закрытом клапане (линия Хкл). Это является еще одним доказательством того, что процессом истечения масла в цилиндр управляет не лубрикатор, а совокупность условий взаимодействия газов с маслом заключенным в заклапанной части тракта системы.

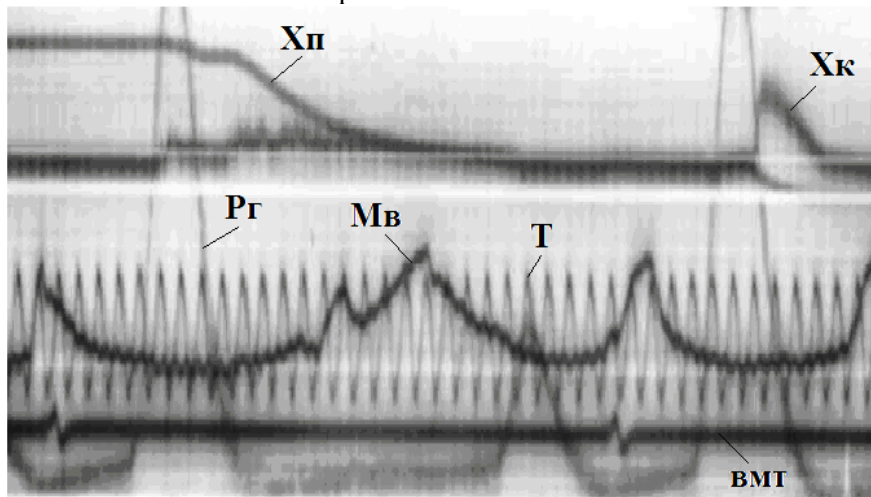


Рис.5. Оциллограмма цикла маслоподачи

Более того, существуют периоды, когда нагнетательный ход плунжера и открытие клапана не приводят к истечению масла из канала (рис.6). Масло, подаваемое в эти периоды идет на пополнение опустошенного канала и появление его на срезе происходит лишь через некоторое время, длительность которого зависит от величины предыдущих «выбросов» и степени опустошенности канала.

С явлением «выброса» связаны основные прямые потери дефицитного цилиндрического масла.

Наложение кривой движения поршня на осциллограмму позволяет определить на какие поверхности и в какие периоды происходит действительное истечение масла.

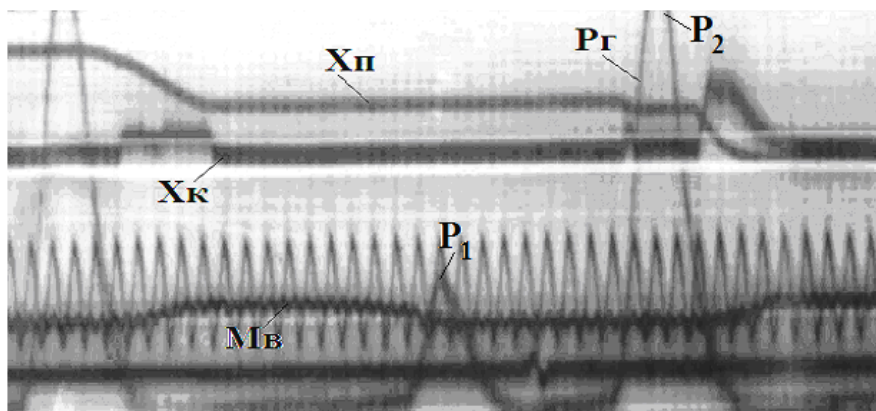


Рис.6. Осциллограмма маслоподачи после опустошения канала в результате «выброса»

Установлено, что «выброс» происходит как после импульса P_1 , так и после импульса P_2 . В первом случае он приходится на тронк, когда нижнее компрессионное кольцо находится выше линии расположения смазочных отверстий, примерно в 20-25⁰ п.к.в.

Конец периода этого «выброса» может приходиться на последнее кольцо при движении поршня к НМТ. Таким образом, «выброс» в рассмотренной фазе является по существу газовым выталкиванием масла в зазор между втулкой и тронком.

Имея в виду участие поверхности тронка в распределении масла по зеркалу, можно считать, что рассмотренная фаза «выброса» несет с собой определенное количество масла, которое используется по назначению. Однако часть масла этой фазы, несомненно, попадет в окна, подпоршневое пространство, ресивер продувочного воздуха и может являться одной из причин, предопределяющих возникновение там пожара.

Другая, основная и самая расточительная фаза «выброса», происходит после второго, более мощного импульса P_2 , при движении поршня к н.м.т., она и приводит к образованию нагара на головке поршня, результаты трения которого по зеркалу оставляют хорошо заметные следы, рис.7.

На основании обработки результатов скоростной киносъемки процесса «выброса» (один из фрагментов которого приведен на рис.4) графическим дифференцированием определены скорости полета масла за пределы смазочных отверстий, рис.8.

Как видно из рисунка, эти скорости достигают 2,5 м/с. В зависимости от фаз и форм «выброса» траектории полета масла в цилиндре могут достигать нескольких десятков сантиметров.

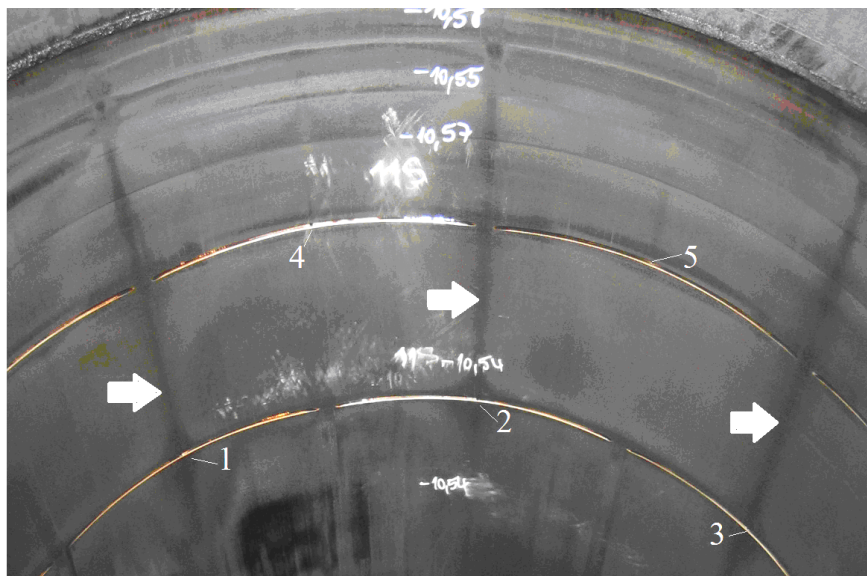


Рис.7. Следы натиров на зеркале ЦВ проходящие через точки подвода масла (1,2,3) нижнего смазочного пояса (точки 4,5 подвода масла верхнего пояса).

Причем малые порции масла (отдельные капли и их пучки) «выбрасываются» из каналов с меньшей скоростью и удаляются от среза смазочных отверстий на меньшее расстояние. Для струйной формы «выброса» характерна скорость до 2-2,5 м/с и наибольшая дальнотойность.

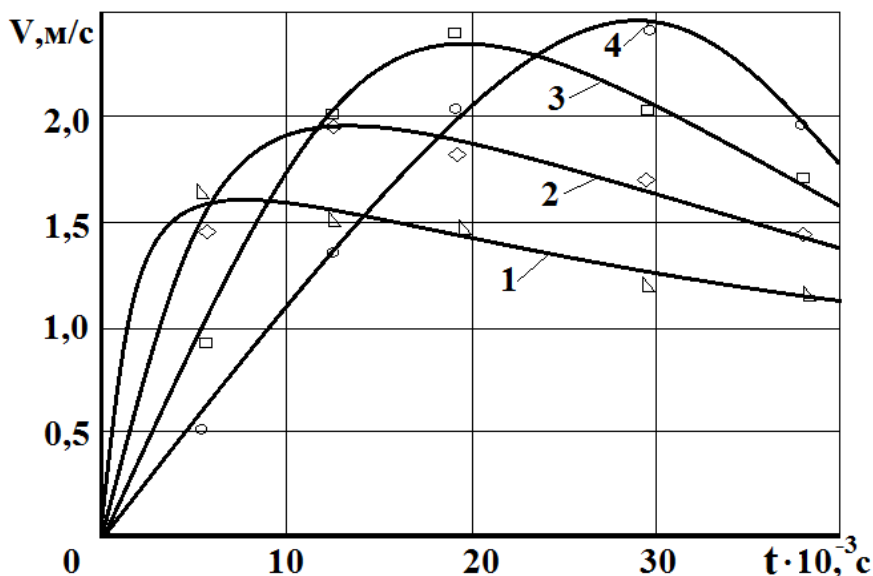


Рис.8. Скорости истечения масла на различных режимах работы двигателя:

1 - $n=104 \text{ мин}^{-1}$; 2 - $n=120 \text{ мин}^{-1}$; 3 - $n=138 \text{ мин}^{-1}$; 4 - $n=175 \text{ мин}^{-1}$;

Следовательно, основное количество масла (за исключением корня струи), поступающего в цилиндр после 2 импульса, отрывается от зеркала, попадает непосредственно на днище головки поршня, где в последующем сгорает.

Корень струи «выброса», происходящего после импульса P_2 , и то несравнимо малое количество, которое в этой фазе вытекает из смазочного отверстия без отрыва от зеркала, подхватывается первым компрессионным кольцом на сжатии. Это масло проникает по зазорам вглубь пояса расположения компрессионных колец под действием перепада давления над и под кольцами, распределяется ими по зеркалу и составляет ту часть подачи во второй фазе, которая используется на смазывание цилиндра.

В результате выполненных экспериментальных исследований систем смазывания цилиндров длинноходовых судовых двигателей фирмы Wartsila-Zylser установлено следующее:

1. Истечение масла в цилиндр из канала за клапаном штуцера осуществляется не под действием плунжера лубрикатора, а в результате взаимодействия газов с маслом в этом канале;

2. У исследуемых дизелей, масло в цилиндр поступает двумя путями - с "выбросом" из канала втулки и стеканием по зеркалу цилиндра;
3. Истечение масла из канала на зеркало происходит в основном мимо канавок, что не способствует равномерному его распределению по окружности цилиндра и обуславливает сброс масла в окна, подпоршневое пространство и унос с продувочным воздухом;
4. "Выброс", происходящий на линии расширения, осуществляется в объеме рабочего цилиндра при положении поршня ниже каналов смазки и составляет основную часть масла, которое нерационально используется в цилиндре, увеличивает отложения нагара, ухудшает состояние цилиндра и снижает технико-экономические показатели работы двигателя;
5. Подача масла на сжатии приходится частично на нижние кольца и в основном - на тронк поршня;
6. Имеет место неравномерная подача масла по оборотам и непропорциональное распределение его между верхней и нижней частями зеркала.