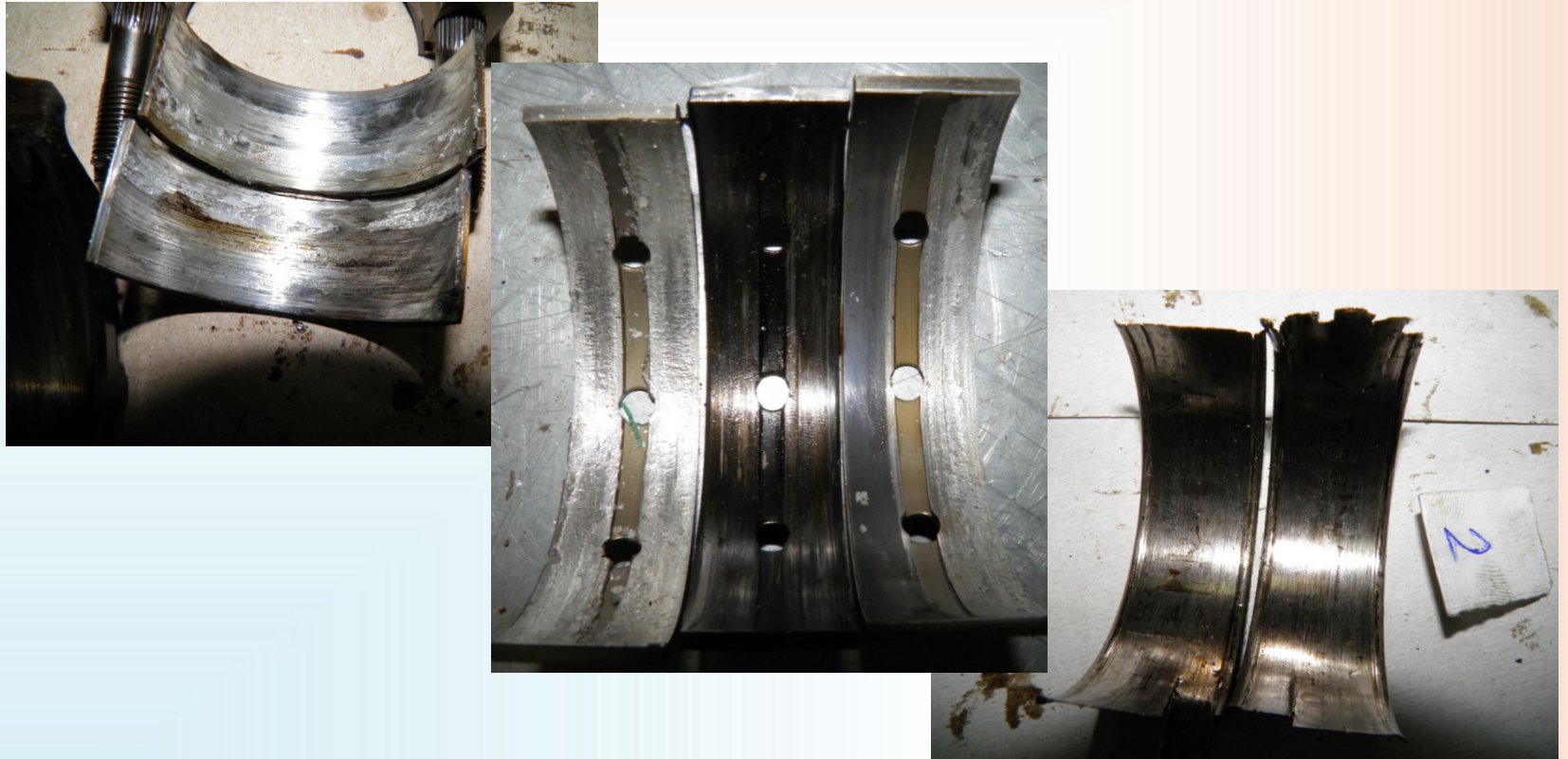


# ВЛИЯНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В СИСТЕМЕ СМАЗКИ НА ХАРАКТЕР ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ ДВС



# Постановка задачи исследования

**Нарушение режима смазки - одна из наиболее распространенных причин повреждений подшипников коленчатого вала в эксплуатации.**

Опыт более чем 100 лет эксплуатации ДВС - возможность локализовать повреждение и уточнить его причину.

- 1) **если повреждены все подшипники или их большинство, то речь идёт об общей недостатке масла**
  - неисправный или негерметичный масляный насос, или же дефект редукционного клапана насоса,
  - утечки в масляной системе (чрезмерно большие зазоры, поломки заглушек, масляных форсунок и т.д.),
  - засорение сетки маслоприемника,
  - слишком низкий уровень масла,
  - слишком большой наклон автомобиля.
- 2) **если же повреждён только один подшипник, то это считается локальной недостаточей масла**
  - установка вкладыша подшипника в неправильном положении - если одна половина подшипника имеет масляные каналы, а другая не имеет таковых, то в неправильном положении (наоборот) происходит перекрытие масляного канала в постели подшипника, и тогда масло не поступает в подшипник.
  - засорение масляных каналов к поврежденному подшипнику посторонними предметами.
  - полное отсутствие подачи масла к шейке (например, при поломке вала),
  - прочие причины, в том числе, производственные, включая попадание под подшипник посторонних предметов, частиц, неправильная геометрия и др.

**Основные трудности в правильном определении причин неисправности ДВС**

- при исследовании причины неисправности ДВС, в котором повреждены подшипники коленвала, указанной информации, как правило, недостаточно.



## Результат

- отсутствует подробное описание целого ряда наблюдаемых конкретных признаков повреждений и их причин,
- Большое количество ошибок при исследовании причин.

## Цель работы

- разработка рекомендаций для определения причин неисправностей подшипников ДВС в зависимости от характера их повреждений.

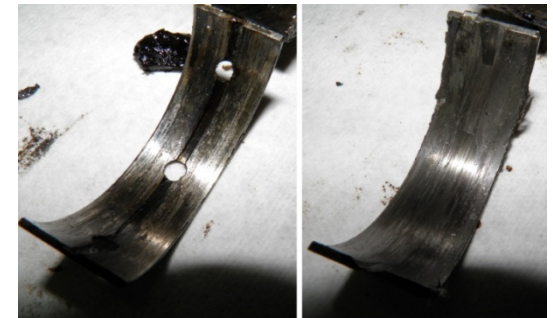
# 1. Особенности повреждения подшипников ДВС и их причины

Основные и наиболее часто встречающиеся виды повреждений подшипников скольжения коленвала можно разбить на 3 основных вида:

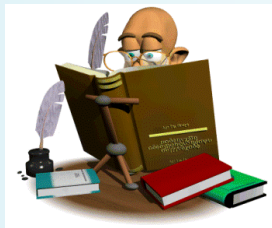
- 1) повреждены большинство или все **шатунные подшипники**, с образованием следов масляного голодания на шатунных шейках коленвала, на рабочей поверхности подшипников в виде цветов побежалости металла, задиров, плавления и разрушения антифрикционного слоя подшипников, с повреждением кривошипных головок шатунов, при этом коренные подшипники следов повреждения не имеют или они незначительны,
- 2) повреждены большинство или все **коренные подшипники**, с образованием следов масляного голодания на коренных шейках коленвала, на рабочей поверхности подшипников в виде цветов побежалости металла, задиров, плавления и разрушения антифрикционного слоя подшипников, с повреждениями на поверхности отверстий опор (постелей) коленвала в блоке цилиндров, при этом шатунные подшипники следов повреждения не имеют,
- 3) повреждены в той или иной степени **и коренные, и шатунные подшипники**, имеющие следы повреждения различной степени .



*Типичный пример повреждения шатунных подшипников при отсутствии повреждений коренных подшипников.*



*Противоположный случай – повреждения коренных подшипников, сопровождаемые сравнительно небольшими повреждениями шатунных подшипников.*



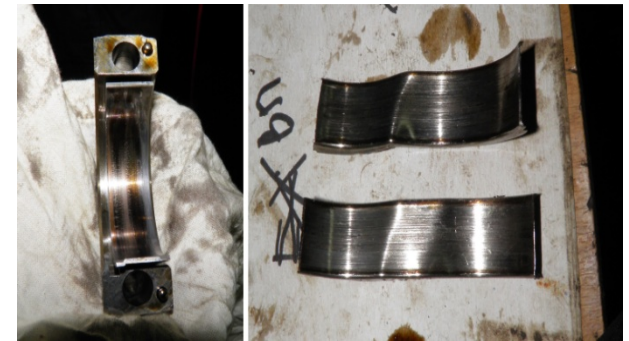
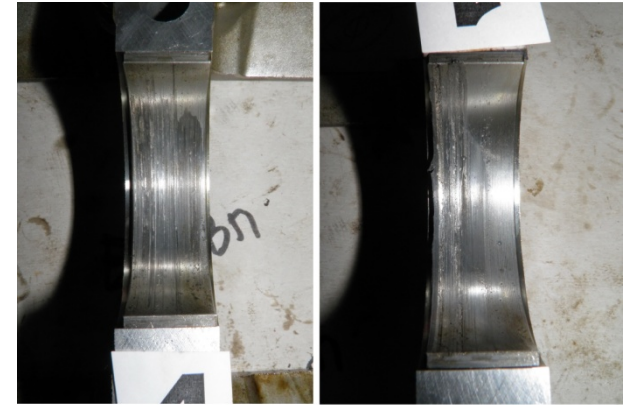
# 1. Особенности повреждения подшипников ДВС и их причины

## Предположение:

- в случае внезапного и полного прекращения подачи масла к коленчатому валу нарушение смазки возникнет в 1-ю очередь в тех подшипниках, куда смазка непосредственно подается под давлением.

## Следствия

- 1) режим масляного голодания при быстром и полном прекращении подачи масла должен возникать, в 1-ю очередь, в **коренных подшипниках** коленвала,
- 2) наблюдаемое повреждение **только шатунных подшипников** (без повреждения коренных) возможно не только и не столько в случае полного отсутствия масла в смазочных отверстиях коленвала, сколько при снижении подачи масла, но не полного его прекращения (иначе повреждения получили бы и коренные подшипники).



## Особенности реальных исследований

- не принимается во внимание наблюдаемое различие в степени повреждения коренных и шатунных подшипников,
- указываются такие причины возникновения масляного голодания, которые прямо противоречат имеющимся признакам.

*Пример повреждения всех подшипников - и коренных, и шатунных, в результате длительной эксплуатации двигателя на мощностных режимах при неисправном маслососе.*

**Наличие одновременного повреждения всех подшипников коленвала вызывает наибольшие трудности при определении достоверной причины повреждения, соответствующей реальной картине выхода двигателя из строя.**



## 2. Влияние конструкции коренных подшипников на смазку шатунных

### Конструктивная схема подшипников коленвала ДВС.

В подавляющем большинстве конструкций автомобильных ДВС коренные подшипники, помимо основной "подшипниковой" функции, выполняют и роль маслораспределителей для подачи масла к шатунным подшипникам.

### Отличительные особенности конструкции коренных подшипников:

- 1) нижняя половина коренного вкладыша выполняется без маслосборной канавки, что необходимо из условия максимальной грузоподъемности и минимального эксплуатационного износа подшипника,
- 2) маслосборная канавка выполняется только на менее нагруженной верхней половине вкладыша,
- 3) на коленчатом валу выполняется одно или два отверстия для подачи масла из маслосборной канавки к шатунному подшипнику.



### Смазочные отверстия в коленчатом валу:

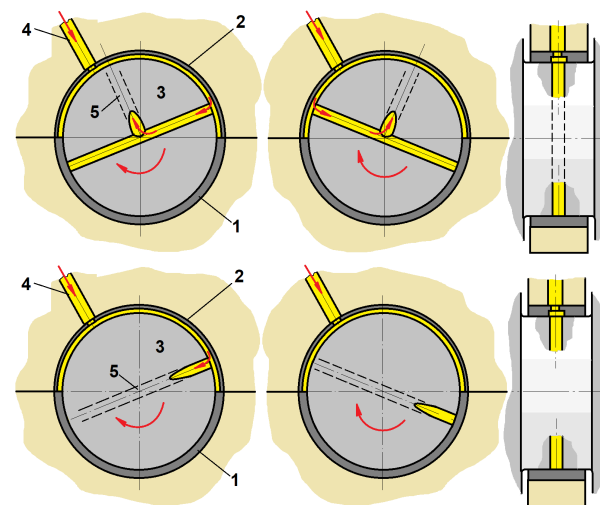
- 1) коренная шейка сверлится поперек по ее диаметру насквозь, затем выполняется отверстие в шатунной шейке до его соединения с отверстием в коренной,
- 2) сверлится только одно сквозное отверстие, соединяющее коренную и шатунную шейки.

### Особенности смазки шатунных подшипников

Установка коленчатого вала, имеющего только по одному отверстию в коренных шейках, в подшипники, у которых маслосборная канавка есть только на верхних половинах вкладышей, приводит к **прерывистой подаче масла** в смазочное отверстие коленвала для смазки шатунных подшипников:

- при вращении коленчатого вала отверстие подачи масла к шатунным подшипникам открыто только пол оборота, а остальные пол оборота отверстие закрыто нижней половиной вкладыша.

**При полном перекрытии смазочного отверстия в коленвале подача масла к шатунным подшипникам неизбежно продолжится - за счет центробежных сил.**



Конструктивные схемы коренного подшипника с непрерывной и с прерывистой подачей масла через отверстие, соединяющее коренную и шатунную шейки:

1- нижний вкладыш без канавки, 2- верхний вкладыш с канавкой, 3- коленвал, 4- канал подачи масла к коренной опоре, 5- канал подачи масла к шатунной шейке.

### 3. Оценка влияния центробежных сил на смазку шатунных подшипников

#### Допущения :

- 1) смазочное отверстие просверлено приблизительно по радиусу кривошипа,
- 2) течение масла в отверстии имеет свойство неразрывности,
- 3) подача масла от коренного подшипника перекрыта,
- 4) вращение вала идет с постоянной скоростью, равной 3000 об/мин, что соответствует режиму средних оборотов.

**Давление масла  $P_{мц}$**  в выходном сечении отверстия (на шатунной шейке) равно:

$$P_{мц} = F_{ц}/f, \quad (1)$$

где  $F_{ц} = m v^2/R$  - центробежная сила, действующая на столб масла в отверстии,  $H$  - масса столба масла, кг,  $\rho$  - плотность масла (900 кг/м<sup>3</sup>),  $f$  - площадь проходного сечения отверстия, м<sup>2</sup>,  $l$  - длина столба масла, на который действуют неуравновешенная центробежная сила, м,  $v = \pi R n/30$  - окружная скорость, м/с, на радиусе кривошипа  $R$ ,  $n$  - частота вращения, об/мин.

$$P_{мц} = \rho R^2 n^2 (\pi^2 / 900)$$

При радиусе кривошипа 0,05 м и частоте вращения 3000 об/мин простейший расчет дает давление подачи масла  $P_{мц} = 2,2$  бар.

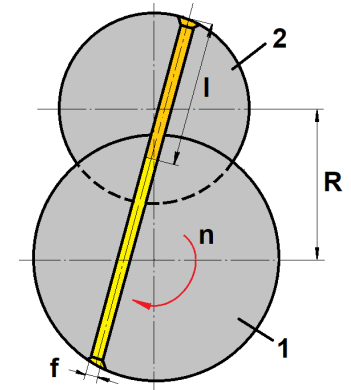


Схема подачи масла от коренной (1) к шатунной (2) шейке коленвала



#### Отсюда:

- 1) подача масла обеспечивается действием центробежных сил на столб масла в смазочном отверстии,
- 2) прерывистой подачи масла к шатунным подшипникам нет, даже если каждое пополюса смазочное отверстие на коренной шейке перекрывается нижним коренным вкладышем без канавки,
- 3) при аварийном и полном прекращении подачи масла в смазочное отверстие смазка шатунного подшипника некоторое время будет продолжаться - точно так же, как и при отключении подачи масла в смазочное отверстие каждое пополюса коленвала,
- 4) подача масла к шатунным подшипникам под действием центробежных сил вполне достаточна для нормальной работы подшипника (хотя и ограниченное время - пока масло не будет полностью выдавлено из смазочного отверстия в шатунный подшипник).

## 4. Влияние режима работы двигателя на повреждения подшипников

**Режим масляного голодания** приводит к повреждению и последующему разрушению подшипника скольжения:

- первоначально возникает при недостаточной подаче масла к трущимся поверхностям подшипника (при штатной нагрузке),
- масляная пленка становится тоньше,
- ухудшение отвода теплоты и повышение температуры масла и самого подшипника снижает вязкость масла и еще больше уменьшает толщину пленки масла.

**Результат:**

- непосредственный контакт и разогрев подшипника от трения контактирующих деталей.

**Стадии повреждения:**

- соприкосновение по микронеровностям (блеск), износ, задиры, плавление, полное разрушение.

**Влияние режима работы двигателя**

- **на низких оборотах и нагрузках** на стадии задиры и плавления подшипника может произойти заклинивание вала в подшипнике за счет приваривания деталей друг к другу,
- **на высоких оборотах и у мощных двигателей** такой эффект наблюдается реже (при большой развиваемой мощности двигатель преодолевает любую силу сопротивления вращению коленчатого вала). Даже если вкладыши привариваются к валу, они проворачиваются в блоке цилиндров и/или кривошипной головке шатуна.
- **дальнейшая работа двигателя** ведет к распространению повреждений на все большее число подшипников, их вторичному повреждению продуктами разрушения, а также перекрытию каналов при проворачивании вкладышей в коренных постелях.



*Повреждение шатунных вкладышей с плавлением и разрушением рабочего слоя и проворачиванием в кривошипной головке шатуна при незначительном повреждении коренных подшипников частицами разрушения шатунных - результат эксплуатации на масле с чрезмерно низкой вязкостью, вызванной перегревом двигателя.*



## 4. Влияние режима работы двигателя на повреждения подшипников

**Реальная картина повреждения – результат влияния нагрузки и времени ее действия:**

- на практике наблюдаются не две характерных картины повреждений (повреждены или только коренные, или только шатунные подшипники), а три,
- к двум часто встречающимся вариантам добавляется третий - повреждение и шатунных, и коренных подшипников.

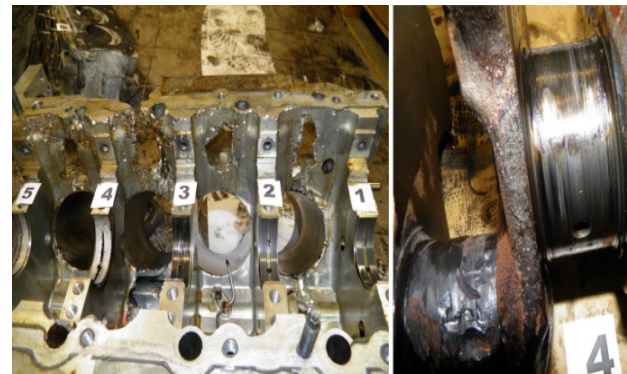


### Общее правило повреждения:

- чем больше нагрузка и обороты и длительнее работа двигателя после появления неисправности,
- тем в целом меньше различия в степени повреждения подшипников.

**Общий подход к определению причины повреждения (неисправности) – принцип разделения признаков на главные, подтверждающие и уточняющие.**

- ❑ **главный признак неисправности** - сам характер повреждения подшипников, а именно, какая группа подшипников повреждена - шатунные, коренные или те и другие.
- ❑ **подтверждающие признаки** - особенности повреждения, в том числе, наличие или отсутствие заклинивания вала в подшипнике, проворачивания вкладыша в постели, перегрева и разрушения кривошипной головки шатуна.
- ❑ **уточняющие признаки** - состояние маслоснабжения, фильтра, сетки маслоприемника, целостность поддона картера, наличие течей и продуктов загрязнения масла, качество масла и другие признаки, характеризующие состояние деталей.

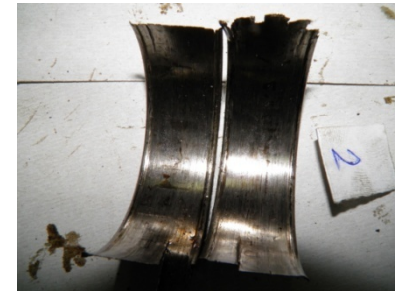


*Разрушение двигателя с чрезвычайными повреждениями большинства коренных и шатунных вкладышей, коленчатого вала и множественными пробоями блока цилиндров - результат длительной работы двигателя на мощностных режимах с неисправной системой смазки.*

## 4. Влияние режима работы двигателя на повреждения подшипников

Характер повреждения подшипников скольжения - в зависимости от вида неисправности системы смазки и режима работы двигателя.

Главные признаки неисправности (какая группа подшипников повреждена)	Повреждены несколько или все шатунные подшипники коленвала	Повреждены несколько или все коренные подшипники коленвала	Повреждены и коренные, и шатунные подшипники
Режимы работы двигателя (оказывают влияние на характер повреждения деталей)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- пониженные обороты и нагрузки, сравнительно малое время работы после возникновения неисправности,</li> <li>- повышенные нагрузки</li> <li>- увеличенная длительность работы после возникновения неисправности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- пониженные обороты и нагрузки, сравнительно малое время работы после возникновения неисправности</li> <li>- повышенные нагрузки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- сравнительно длительная работа двигателя на мощностных режимах после возникновения неисправности</li> </ul>
Подтверждающие признаки (характер повреждения деталей кривошипно-шатунного механизма)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- заклинивание коленвала в шатунных подшипниках на малых оборотах,</li> <li>- проворачивание шатунных вкладышей и повреждение кривошипн. головок шатунов при повышении нагрузки,</li> <li>- перегрев и разрушение кривошипной головки шатуна при увеличении длительности работы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- заклинивание коленвала в коренных подшипниках на малых оборотах,</li> <li>- проворачивание коренных вкладышей и повреждение коренных постелей в блоке цилиндров при увеличении нагрузки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- проворачивание шатунных вкладышей и повреждение кривошипных головок шатунов с последующим их разрушением,</li> <li>- проворачивание коренных вкладышей и повреждение коренных постелей в блоке цилиндров</li> </ul>
Причины неисправности (находятся по уточняющим признакам - состоянию конкретных деталей)	<p>Снижение подачи масла к коленвалу, в том числе:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- несвоевременный контроль за уровнем масла,</li> <li>- износ деталей масляного насоса,</li> <li>- износ коленвала и подшипников,</li> <li>- загрязнение сетки маслозаборника,</li> <li>- чрезмерно низкая вязкость масла</li> </ul>	<p>Прекращение подачи масла к коленвалу, в том числе:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- заклинивание редукционного клапана масляного насоса в открытом положении,</li> <li>- заклинивание редукционного клапана маслонасоса в закрытом положении, выдавливание резинового кольца из-под масляного фильтра,</li> <li>- неисправность механизма регулирования объема нагнетательной полости маслонасоса,</li> <li>- разрушение поддона картера,</li> <li>- внутренние разрушения в двигателе, влияющие на герметичность и/или исправность маслосистемы</li> </ul>	<p>Возможные причины неисправности могут соответствовать как снижению, так и полному прекращению подачи масла:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ключевое значение имеет разница между состоянием (степенью повреждения) коренных и шатунных подшипников,</li> <li>- чем дольше работает двигатель после появления неисправности, тем труднее определить разницу между состоянием (повреждением) коренных и шатунных подшипников</li> </ul>



- ✓ сопоставление признаков повреждения подшипников конкретного двигателя с данными таблицы позволяет достаточно быстро локализовать неисправность и путем ограниченного числа проверок быстро выявить причину неисправности.

# Выводы



1. Наблюдаемое, согласно имеющимся экспериментальным данным, различие в повреждениях коренных и шатунных подшипников коленчатого вала при неисправностях в системе смазки вызвано различиями в организации подачи масла к подшипникам при влиянии центробежных сил и является ключевым фактором, указывающим на причину неисправности.
2. Нарушение режима смазки и повреждение только коренных подшипников связано, главным образом, с быстрым и полным (или почти полным) прекращением подачи к ним масла, в то время как повреждение только шатунных подшипников является, как правило, следствием снижения подачи масла ниже некоего минимального уровня. Возможны и переходные состояния, когда повреждены и коренные, и шатунные подшипники, однако для правильного определения причины наиболее важна разница в степени их повреждения.
3. Если известные признаки повреждений подшипников разбить на главные (какая группа подшипников повреждена), подтверждающие (характер повреждений) и уточняющие (состояние деталей системы смазки), а затем проверять наличие указанных признаков при исследовании причин неисправностей в зависимости от разницы в состоянии коренных и шатунных подшипников, то причины неисправности двигателя, вызвавшие повреждение подшипников, могут быть определены с более высокой достоверностью.

