

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЧИНЫ НЕИСПРАВНОСТИ ДВС ПРИ ТЯЖЕЛЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ



XXII МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЕЙ

Для чего нужны экспертные исследования причин неисправности ДВС?

Место экспертных исследований в общем комплексе научно-исследовательских и конструкторских работ.

- Научно-исследовательские работы – исследование процессов.
- Проектно-конструкторские работы – производство.
- Экспертные работы – определение причины неисправности в эксплуатации.



Особенности экспертных исследований:

- малое время, отводимое для исследования,
- незначительность выделяемых средств,
- сложность, нецелесообразность и/или даже невозможность использования сложных методик исследования, в том числе, стендовых испытаний, компьютерного моделирования и т.д.,
- необходимость получения, как минимум, надежных качественных результатов для определения общих закономерностей,
- целесообразность использования сравнительно простых «инженерных» расчетных методик,
- необходимость экспериментального подтверждения гипотез, теорий, результатов.

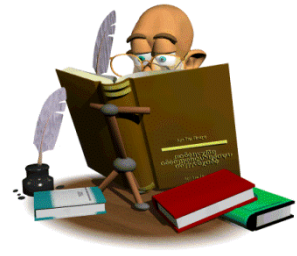
Постановка задачи исследования

Особенности исследований причин неисправностей ДВС

- большие усилия и средства, вкладываемые в научные исследования, проектно-конструкторские работы и производство ДВС, не всегда соответствуют сложности проблем, возникающих в эксплуатации ДВС,
- разрыв между производителем и эксплуатантом транспортных средств, когда производитель не имеет достоверной информации о неисправностях, возникающих при эксплуатации его продукции,
- отсутствие методик, с помощью которых можно было бы определять причины неисправностей с необходимой степенью достоверности,
- особая сложность при исследовании тяжелых повреждений - таких, в которых происходит нарушение связей между возвратно-поступательно и вращательно движущимися деталями, в том числе, при разрушении поршней, шатунов и клапанов, что сопровождается пробоем стенок блока цилиндров, деформацией стенок головки цилиндра и обычно приводит к неремонтопригодности двигателя.

Основные трудности в правильном определении причин неисправности ДВС

- недостаточное количество данных,
- недостаточный опыт исследователя, непонимание им сути процессов,
- ошибочное объяснение причинно-следственных связей,
- прочие субъективные факторы.



Результат

- неправильно установленная (мнимая) причина неисправности, потери времени и средств на устранение причин и последствий неисправности.

Цель работы

- Разработка методики для определения причин неисправностей ДВС в эксплуатации при тяжелых повреждениях.

Особенности повреждений ДВС и их исследований

- **Первичное разрушение** деталей ДВС - носит усталостный характер и связаны, главным образом, с нештатным (нерасчетным, не предусмотренным конструкцией) ростом нагрузок на деталь, в том числе, в результате некоего ее начального повреждения.
- **Вторичное разрушение** деталей, сопряженных и/или взаимодействующих с первично разрушенной – имеет мгновенный, ударный и хрупкий характер и вызвано превышением предела временной прочности материала в результате их вторичного взаимодействия с образовавшимися обломками.

Наиболее распространенные тяжелые повреждения ДВС и их причины:

- 1) деформация и последующее разрушение стержня шатуна в результате попадания жидкости в полость цилиндра (т.н. гидроудар),
- 2) разрушение шатунного подшипника и нижней головки шатуна вследствие масляного голодания,
- 3) разрушение клапана преимущественно из-за ошибок сборки (обслуживания),
- 4) разрушение поршневого пальца.

Особенности исследований, в том числе, тяжелых повреждений:

- **большое разнообразие** конструкций ДВС различных типов,
- **отсутствие методик** исследования механизма повреждений и разрушений деталей,
- **сложность или даже невозможность**, в отличие от научных исследований процессов и конструирования ДВС, формализовать процессы, а при их моделировании выявлять закономерности, пригодные для составления методик,
 - **необходимость сбора статистических данных** по характеру и особенностям неисправностей и разрушений для конкретных марок и моделей ДВС.



1. Тяжелые повреждения ДВС при попадании жидкости в цилиндр

Основные причины гидроудара в цилиндре:

- 1) **вода**, прошедшая через систему впуска при проезде транспортным средством глубоких луж, падения в водоемы, затопления и проч. (наиболее часто),
- 2) **топливо** из неисправных форсунок и агрегатов топливной системы (редко),
- 3) **масло** из неисправных агрегатов систем турбонаддува или при длительном нахождении транспортного средства в нештатном перевернутом положении (редко),
- 4) **охлаждающая жидкость**, главным образом, при нарушении технологии ремонтных работ (очень редко).



Последствия

- жидкость занимает часть объема сжимаемого воздуха,
- на такте сжатия это приводит к резкому возрастанию давления в цилиндре и нагрузок на шатунно-поршневую группу,
- при большом по сравнению с объемом камеры сгорания количестве попавшей в цилиндр жидкости и продолжении вращения коленвала по инерции происходит осевое сжатие шатуна вдоль стержня с потерей им устойчивости,
- чрезмерные нагрузки на поршень приводят к деформации юбки поршня.



Зависимость повреждений от степени деформации шатуна

- 1) сильная деформация - коленчатый вал будет заклинен при упоре поршня на укороченном шатуне в противовесы коленвала при подходе к ВМТ.
- 2) средняя (условно) деформация - двигатель сохранит работоспособность, но вследствие уменьшения степени сжатия и компрессии нарушится баланс мощностей по цилиндрам, а также появится стук.
- 3) слабая деформация - никаких явных признаков повреждения может не проявиться вообще.

При средней и слабой деформации шатуна возникают нештатные изгибающие нагрузки на деформированный стержень шатуна, от которых он неизбежно разрушится от усталости через определенное время эксплуатации.

1. Тяжелые повреждения ДВС при попадании жидкости в цилиндр

Диагностика гидроудара

- невозможность использования данных систем самодиагностики в момент гидроудара для создания каких-то количественных закономерностей - из-за влияния особенностей конструкции конкретных ДВС, режимов работы после повреждения, особенностей записи и хранения информации в большинстве систем самодиагностики (в том числе, стирание информации после снятия питания),
- значительные трудности в сборе необходимой статистики,
- конечный результат гидроудара - большое количество обломков шатуна, поршня и блока цилиндров.

Невозможность решения прямой задачи - только по характеру разрушения (излома) отдельных деталей невозможно определить причину, по которой они превратились в обломки.

Суть методики

Для правильного определения причины повреждения двигателя **необходимо решить обратную задачу** - установить признаки, которые появились на деталях вследствие начального повреждения еще в то время, когда детали сохраняли работоспособность.

Если знать и обнаружить все такие признаки, можно установить не только факт, но и причину гидроудара.

Пример

- несмотря на то, что шатун мог превратиться во множество обломков, величину деформации шатуна, которую он имел до разрушения, всегда можно легко измерить,
- очевидно, что у поршня, "осевшего" из-за осевого сжатия шатуна, верхнее поршневое кольцо не доходит до своего штатного положения в ВМТ,
- в результате этого пояс нагара в верхней части цилиндра при сгорании топлива расширяется вниз на величину осевого сжатия стержня шатуна.

Главный (уникальный) признак гидроудара - расширение пояса нагара в верхней части цилиндра.



1. Тяжелые повреждения ДВС при попадании жидкости в цилиндр

Подтверждающие признаки - которые, так же как и главный признак, говорят о деформации шатуна и работе ДВС с деформированным шатуном:

- диагональный износ юбки поршня,
- деформация юбки,
- след стертого нагара над отверстием поршневого пальца на поршне и на ответной поршню верхней части цилиндра,
- износ края торцов поршневого пальца и ответный износ стопорного кольца от ударов пальца,
- разбивание канавки стопорного кольца,
- повреждение нижнего края юбки и бобышек поршня при задевании ими противовесов коленвала в НМТ,
- диагональный износ шатунных подшипников и некоторые другие.



Уточняющие признаки

– уточняют тип жидкости и/или место ее поступления:

- коробление гофров воздушного фильтра,
- следы намочения на картоне фильтра,
- следы высохших капель воды под крышкой фильтра, в гофрах воздухопроводов и на дроссельной заслонке,
- негерметичность агрегатов, в т.ч., топливной системы,
- течь уплотнения турбокомпрессора.

2. Тяжелые повреждения ДВС при разрушении клапанов

Основная причина разрушения клапанов - ошибки при ремонте и обслуживании.

2 основных вида разрушения клапанов:

- 1) обрыв стержня в верхней части по канавке для сухаря,
- 2) отрыв головки клапана от стержня в нижней части.

Особенности исследования

Решение **прямой задачи** - определение причины неисправности по характеру разрушения, **бессмысленно**, следует решать **обратную задачу** - выявлять признаки, возникшие до разрушения.

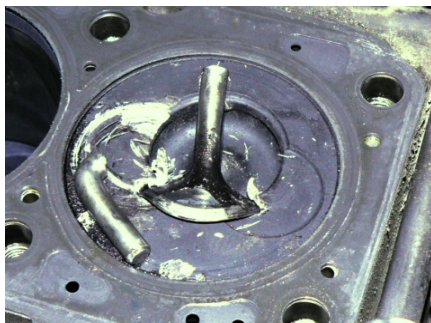
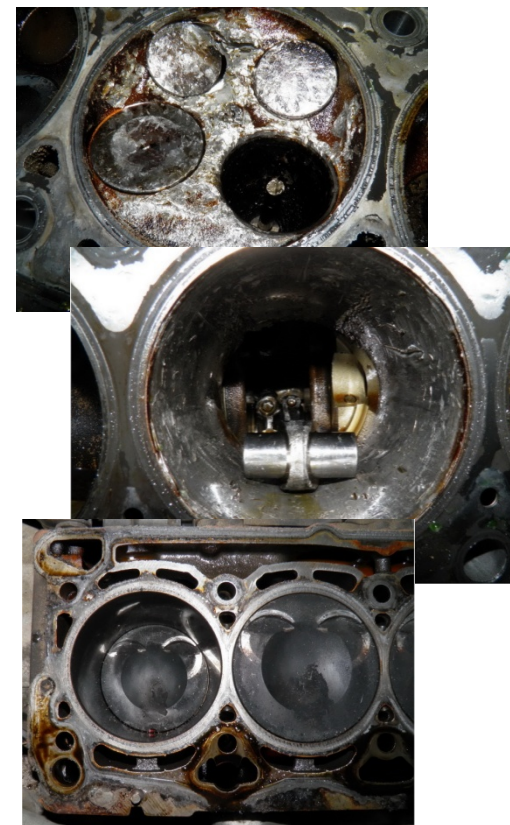
Главный признак неисправности - отсутствие головки клапана на ее штатном месте в седле (возможно как первичное усталостное разрушение, так и вторичное ударное от взаимодействия с обломками поршня).

Подтверждающие признаки

- следы ударов клапанов на поршнях соседних цилиндров,
- отсутствие разрушения шатуна и поршневого пальца,
- отсутствие износа кривошипной головки шатуна и шатунного подшипника.

Уточняющие признаки - локализация разрушения.

- 1) стержень клапана остался в направляющей втулке:
 - разрушение в нижней части стержня с отделением головки от стержня,
 - причиной являются ударные изгибающие нагрузки на головке клапана,
 - следы ударов головки клапана на днище всех поршней,
 - усталостный характер излома на стержне клапана.
- 2) в цилиндре имеются фрагменты разрушенного стержня клапана:
 - разрушение по канавке для сухарей,
 - тарелка пружины сохраняется в сборе с сухарями и обломком стержня,
 - излом стержня по канавке имеет специфическую микроструктуру (с включениями частиц материала направляющей втулки).



3. Тяжелые повреждения ДВС вследствие масляного голодания



Причины повреждения

Нарушении подачи масла по различным причинам, среди которых преобладают эксплуатационные.

Главный признак неисправности

Усталостное разрушение шатуна по кривошипной головке вследствие потери прочности при одновременном появлении ударных нагрузок от больших зазоров в подшипнике. Разрушение (в том числе, болтов крышки шатуна) обычно сопровождается повреждениями и пробоем стенки блока цилиндров.

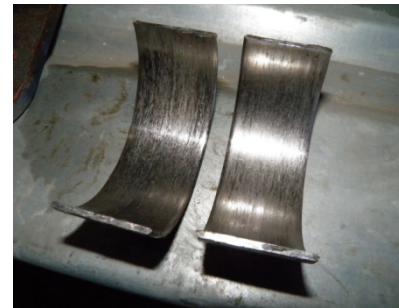


Подтверждающие признаки

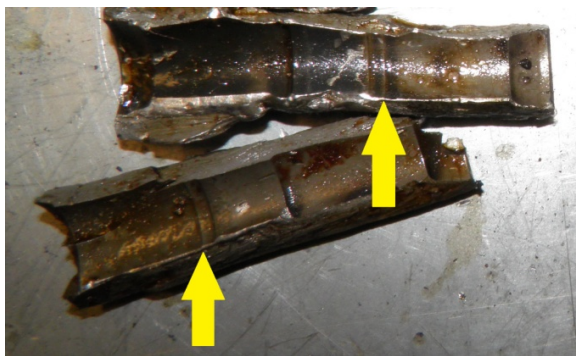
- полное или частичное разрушение вкладыша,
- износ и перегрев кривошипной головки шатуна и шейки коленвала,
- повреждение днища поршня от ударов по головке цилиндров (из-за смещения шатунно-поршневой группы вверх при разрушении вкладыша),
- в некоторых случаях частичное или полное разрушение поршня,

Уточняющие признаки

- недостаточный уровень масла,
- неисправность маслонасоса,
- засорение маслосистемы отложениями,
- различные ошибки при ремонте,
- прочие причины.



4. Тяжелые повреждения ДВС при разрушении поршневого пальца



Вид разрушения, вызывающего очень тяжелые повреждения ДВС, что особенно характерно для начального периода эксплуатации.

2 основных вида разрушения пальцев:

- 1) продольное – хрупкое разрушение (вторичное),
- 2) поперечное – усталостное разрушение (первичное).

Основная причина разрушения - в отверстии пальца после механической обработки остаются нештатные, т.е. не предусмотренные конструкцией, концентраторы напряжений (производственный дефект).

Важная особенность неисправности – скрытый характер, когда ни выявить дефект до разрушения пальца, ни предотвратить разрушение и его последствия практически не представляется возможным.

Особенности исследования

Решение **прямой задачи** - определение причины неисправности по характеру разрушения, затруднено вследствие значительных разрушений всех деталей.

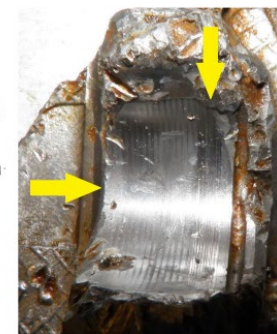
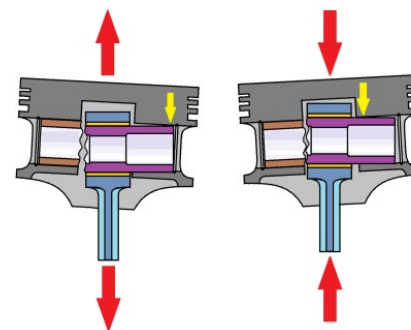
Главный признак неисправности – поперечное разрушение пальца в средней части с последующим разрушением поршня от чрезмерных перекашивающих нагрузок на одну из бобышек.

Подтверждающие признаки

– "ступеньки" ближе к наружному краю отверстия разрушенной бобышки и деформация на его внутреннем крае.

Уточняющие признаки

- - наличие нештатной галтели в отверстии пальца или слишком малый радиус галтели (определяется только путем разреза пальца вдоль оси),
- - грубая обработка отверстия в пальце.



5. Тяжелые повреждения ДВС при нарушении осевой фиксации поршневого пальца

Плавающий палец:

- выскакивание стопорного кольца из канавки в отверстии бобышки поршня вследствие износа от чрезмерных ударных нагрузок на стопорное кольцо (деформация шатуна, большой осевой ход пальца) и/или неправильной установки стопорного кольца и/или отсутствия фаски на кромке пальца (как правило, дефект ремонтного производства).

Неподвижный палец:

- нарушение фиксации вследствие нештатного зазора в сопряжении с поршневой головкой шатуна, образованного в результате перегрева поршневой головки при установке пальца во время ремонта двигателя (дефект ремонтного производства).

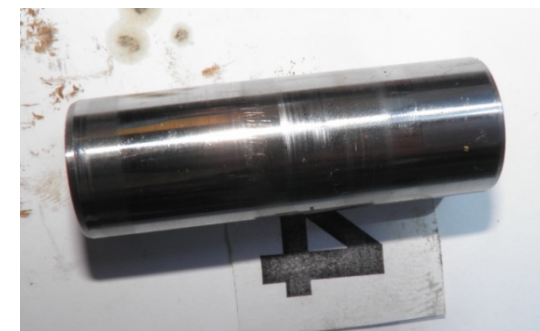
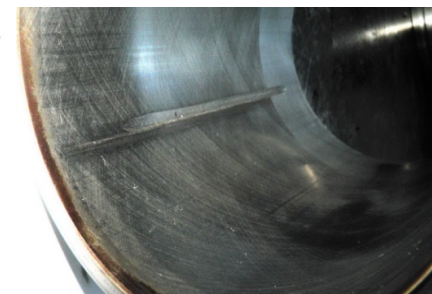
Признаки:

- длинная и глубокая вертикальная канава на цилиндре,
- характерная полировка на кромке и торце пальца,
- несимметричные следы приработки на поверхности пальца.



Последствия - зависят от конструкции поршня и пальца:

- 1) **старые конструкции** с длинными пальцами – палец при смещении вбок до упора в цилиндр остается в контакте с поверхностью отверстия обеих бобышек, что нередко вызывает только повреждение цилиндра и резкое увеличение расхода масла на угар,
- 2) **современные конструкции** с короткими пальцами - при смещении до упора в цилиндр палец выходит из сопряжения с отверстием противоположной бобышки поршня, и тогда **картина (последствия) разрушения становится почти тождественной поломке пальца – с разрушением поршня, шатуна, блока цилиндров и т.д.**



Методика определения причин тяжелых повреждений ДВС

Определение причины разрушений по совпадению (или несовпадению) найденных признаков - простая методика определения причин неисправностей, если свести все известные признаки в таблицу:

Повреждение/неисправность	Гидроудар	Обрыв клапана	Масляное голодание	Разрушение поршневого пальца или нарушение его осевой фиксации
Причина неисправности	Попадание жидкости в цилиндр (эксплуатационное повреждение)	Производственный дефект сборки сопряженных с клапаном деталей	Недостаточная подача масла (эксплуатационное повреждение или производственный дефект)	Производственный дефект (изготовления или ремонта)
Причина разрушения	Нештатные нагрузки на шатун из-за деформации стержня, усталостное разрушение стержня шатуна	Нештатные нагрузки на клапан, усталостное разрушение стержня клапана	Потеря прочности материала, нештатные ударные нагрузки, усталостное разрушение кривошипной головки шатуна	Концентратор напряжения на поверхности отверстия, усталостное разрушение или нарушение осевой фиксации (неправильная установка стопорного кольца, перегрев поршневой головки шатуна)
Последствия	Пробой блока цилиндров, повреждение цилиндра в нижней части, повреждение головки цилиндра и клапанов	Сильное повреждение цилиндра (по всей высоте) и камеры сгорания, пробой блока цилиндров	Пробой блока цилиндров, разрушение шатуна, повреждение цилиндра в нижней части	Пробой блока цилиндров, разрушение поршня и шатуна, повреждение цилиндра, головки и др.
Главные признаки	Разрушение стержня шатуна в средней части, при расширенном поясе нагара в верхней части цилиндра	Сильное повреждение или разрушение поршня при отсутствии головки клапана на ее штатном месте в седле	Разрушение кривошипной головки шатуна при разрушении вкладыша и перегреве кривошипной головки шатуна	Разрушение поршня при поперечном разрушении поршневого пальца или при наличии глубокой вертикальной канавы на цилиндре
Подтвержд. признаки	1) диагональный износ юбки поршня, 2) деформация юбки, 3) след стертого нагара над отверстием пальца на поршне, ответный след стертого нагара в верхней части цилиндра, 4) износ края торцов поршневого пальца, 5) ответный износ стопорного кольца, 6) разбивание канавки стопорного кольца в отверстии для пальца, 7) нагарообразование на стенках камеры сгорания и на днище поршня, 8) повреждение нижнего края юбки и бобышек поршня, 9) диагональный износ шатунных вкладышей, отсутствие следов перегрева на них и на нижней головке шатуна, 10) в атмосферных ДВС: выталкивание поршня с обломком шатуна вверх, в ДВС с наддувом - вниз, до полного разрушения поршня.	1) отсутствие разрушения шатуна, 2) отсутствие разрушения поршневого пальца, 3) отсутствие повреждений кривошипной головки шатуна, 4) отсутствие износа шатунного подшипника.	1) износ и перегрев вкладышей и кривошипной головки шатуна, 2) повреждение днища поршня от ударов по головке цилиндра, 3) повреждение бобышек поршня снизу от ударов противовесов коленвала, 4) возможн. разрушение поршня.	1) при разрушении пальца – "ступеньки" ближе к наружному краю отверстия разрушенной бобышки и деформация на его внутреннем крае, 2) при нарушении осевой фиксации – целостность пальца или его продольное разрушение, "ступенька" у внутреннего края отверстия бобышки.
Уточняющие признаки	При попадании воды извне: 1) коробление гофров возд. фильтра, 2) следы намокания на картоне, 3) следы высохших капель в фильтра, в воздуховодах и на дросс. заслонке. При попадании масла (только ДВС с турбонаддувом) и топлива: 1) отсутствие следов высохших капель внутри воздуховодов, 2) течь уплотнений турбокомпрессора (внутренняя негерметичность агрегатов топливной систем), 3) течь топливных форсунок.	При разрушении в нижней части стержня: 1) следы ударов головки клапана на днище всех поршней, 2) усталостный характер излома на стержне клапана, При разрушении по канавке для сухарей: 1) стержень клапана в цилиндре, 2) тарелка пружины сохраняется в сборе с сухарями и обломком стержня, 3) специфическая микро-структура излома.	При эксплуатационном повреждении: 1) низкий уровень масла, 2) засорение маслосистемы отложениями, Производственный дефект (дефект ремонтного производства): 1) неисправность маслоснаоса, 2) ошибки при ремонте	При разрушении пальца: – наличие нештатной галтели в отверстии пальца или слишком малый радиус галтели (определяется только путем разреза пальца вдоль оси), При нарушении осевой фиксации пальца: – полировка или повреждение кромки пальца о цилиндр, несимметричность следов на поверхности, разница в состоянии стопорных колец (износ) и канавок под них (деформация), или следы перегрева поршневой головки шатуна (для прессовой посадки)



При наличии тяжелых повреждений ДВС для определения причины достаточно проверить имеющиеся признаки на соответствие гидроудару, масляному голоданию и дефекту сборки клапанного механизма, чтобы выбрать рабочую версию причины неисправности, которую затем быстро подтвердить и уточнить ее место по подтверждающим и уточняющим признакам.

Выводы

- Причины тяжелых повреждений ДВС, возникающих вследствие разрушения и рассогласования возвратно-поступательного и/или вращательного движения деталей, могут быть определены с высокой достоверностью, если использовать простую методику, в которой все известные признаки повреждений разбить на главные, подтверждающие и уточняющие, чтобы проверять наличие указанных признаков при расследовании причин неисправностей.
- Проверочное применение такой методики по базе данных выполненных досудебных и судебных экспертиз (более 90 исследований за 8 лет) показало, что с ее помощью можно практически исключить грубые ошибки при расследовании причин неисправности, включая явные несоответствия заключений экспертиз, таких как путаница между причинами и следствиями, в том числе, при недостаточной квалификации исследователя.

