

А.Э.Хрулев, Ю.В.Кочуренко

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЧИНЫ НЕИСПРАВНОСТИ ДВС ПРИ ТЯЖЕЛЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ

Представлен общий подход к исследованию причин неисправностей ДВС, возникающих при нарушении кинематической связи между вращательно и поступательно движущимися деталями, что приводит к тяжелым повреждениям и разрушениям деталей. Показано, что определение причины неисправности при данном виде разрушений представляет собой наибольшую сложность для исследования в связи с большим количеством обломков и значительной деформацией деталей. На конкретных примерах рассмотрены основные причины тяжелых повреждений ДВС, среди которых как эксплуатационные повреждения при попадании жидкости в цилиндр и масляном голодании, так и производственные дефекты, возникающие при изготовлении и/или сборке клапанного механизма и поршневых пальцев. Приведены и проанализированы основные признаки рассматриваемых видов повреждений, на основании разделения этих признаков на главные, подтверждающие и уточняющие разработана простая методика определения причин неисправности при тяжелых повреждениях ДВС.

Постановка задачи

Большие усилия и средства, вкладываемые в научные исследования, проектно-конструкторские работы и производство ДВС, нередко не соответствуют сложности проблем, возникающих в эксплуатации ДВС. В результате наблюдается определенный разрыв между производителем и эксплуатантом транспортных средств, когда производитель не всегда имеет достоверную информацию о неисправностях, возникающих при эксплуатации его продукции. Одним из факторов, препятствующих получению такой информации, является отсутствие методик, с помощью которых можно было бы определять причины неисправностей с необходимой степенью достоверности. Особенно это касается тяжелых повреждений, когда большое количество разрушенных деталей и деформация обломков препятствуют правильному выявлению причинно-следственных связей.

Цель работы - разработка методики для определения причин неисправностей ДВС в эксплуатации при тяжелых повреждениях.

Особенности повреждений ДВС и их исследований

К тяжелым повреждениям можно условно отнести такие, при которых происходит нарушение связей между вращательно и поступательно движущимися деталями, в том числе, при разрушении поршней, шатунов и клапанов, что сопровождается пробоем стенок блока цилиндров, деформацией стенок головки цилиндра, разрушением других узлов и деталей (маслонасос, распределительный вал, поддон картера) и обычно приводит к потере двигателем ремонтпригодности.

Все первичные разрушения деталей ДВС, очевидно, носят усталостный характер и связаны, главным образом, с нештатным (нерасчетным, не предусмотренным конструкцией) ростом нагрузок на деталь в результате некоего ее начального повреж-

дения [1-12]. Вторичное разрушение деталей, сопряженных и/или взаимодействующих с первично разрушенной, напротив, носит мгновенный, ударный и хрупкий характер и вызвано превышением предела временной прочности материала деталей в результате их вторичного взаимодействия с образовавшимися обломками.

Многолетняя практика расследования различных видов неисправностей ДВС [5,7,9] показывает, что наиболее распространенными тяжелыми повреждениями ДВС и их причинами являются (рис.1): 1) деформация и последующее разрушение стержня шатуна в результате попадания жидкости в полость цилиндра (т.н. гидроудар), 2) разрушение шатунного подшипника и кривошипной головки шатуна вследствие масляного голодания, 3) разрушение клапана преимущественно из-за ошибок сборки, 4) разрушение поршневого пальца при наличии производственного дефекта.



Рис.1. Типичные последствия тяжелых повреждений ДВС, в том числе, при гидроударе, масляном голодании (вверху), разрушении клапана и поршневого пальца (внизу)

Одной из главных проблем в случае возникновения неисправностей и повреждений ДВС в эксплуатации и необходимости установления их причины является отсутствие методик исследования, что связано с трудностями объективного характера – например, сложностью или даже невозможностью, в отличие от научных исследований процессов и конструирования ДВС, формализовать процессы, а при их моделировании выявлять закономерности, пригодные для составления универсальных методик [1]. Трудности вносят и особенности конструкции ДВС различных типов, что требует сбора статистических данных по характеру и особенностям неисправностей и разрушений для конкретных марок и моделей ДВС. Тем не менее, для тяжелых повреждений может быть предложена простая методика, по которой причина неисправности определяется достаточно точно. Для этого необходимо рассмотреть признаки каждого вида повреждений более подробно.

Тяжелые повреждения ДВС при попадании жидкости в цилиндр

В подавляющем большинстве известных случаев в цилиндр попадает вода, прошедшая через систему впуска в результате проезда транспортным средством глубоких луж, падения в водоемы, затопления и проч. [5]. Однако возможно попадание в цилиндр и других жидкостей – топлива из неисправных форсунок и агрегатов топливной системы, масла из неисправных агрегатов систем турбонаддува или при длительном нахождении транспортного средства в нештатном перевернутом положении. Прочие случаи, например, попадание в цилиндр охлаждающей жидкости, встречаются крайне редко и связаны, главным образом, с натеканием ее в цилиндр при нарушении технологии ремонтных работ.

Жидкость, попавшая в цилиндр, естественным образом занимает объем 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, а также деформация юбки поршня от чрезмерных нагрузок. Данное явление получило название "гидроудар", и, хотя такое название не вполне отражает суть происходящих процессов, ниже именно оно будет использовано для краткости.

В зависимости от степени деформации стержня шатуна после гидроудара возможны различные варианты дальнейшего развития событий. Так, при

сильной деформации коленчатый вал будет заклинен вследствие упора поршня, расположенного на укороченном шатуне, в противовесы при подходе к НМТ, или, реже – при упоре сильно деформированного стержня шатуна в нижний край цилиндра. При средней (условно) деформации стержня шатуна двигатель сохранит работоспособность, но вследствие уменьшения степени сжатия и компрессии нарушится баланс мощностей по цилиндрам (возникнет неравномерность работ двигателя и потеря мощности), а также появится стук. И только при слабой деформации никаких явных признаков повреждения может не проявиться вообще.



Рис.2. Шатун, деформированный при гидроударе (слева), неизбежно разрушится по стержню через определенное число циклов (справа)

Общим для средней и слабой деформации шатуна является появление при дальнейшей эксплуатации нештатных изгибающих нагрузок на деформированный стержень шатуна, при наличии которых стержень практически неизбежно разрушится от усталости через определенное время эксплуатации (рис.2).

Современные системы самодиагностики некоторых транспортных средств позволяют зафиксировать и идентифицировать момент начального повреждения данного типа (например, по самопроизвольному останову ДВС при гидроударе, скачкообразному изменению параметров и т.д.), при этом даже можно получить точное время от начального повреждения до усталостного разрушения шатуна. Однако использовать эти данные для создания каких-то количественных закономерностей невозможно 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) и, как следствие, значительных трудностей в сборе необходимой статистики.

В результате чаще всего эксперт-исследователь сталкивается только с конечным результатом гидроудара, а именно, с большим количеством обломков шатуна, поршня и блока цилиндров [1,5,6]. При этом решить прямую задачу, а именно только по характеру разрушения (излома) отдельных деталей определить причину, по которой они превратились в обломки, невозможно.

Для правильного определения причины необходимо решать обратную задачу, а именно – установить признаки, которые появились на деталях вследствие их начального повреждения еще в то время, когда детали сохраняли работоспособность. Тогда, если знать и обнаружить все такие признаки, можно установить не только факт, но и причину гидроудара. Например, несмотря на то, что шатун мог превратиться во множество обломков, величину деформации шатуна, которую он имел до разрушения, всегда можно легко измерить.



Рис.3. Главный признак гидроудара – расширение пояса нагара в верхней части цилиндра (слева), и один из подтверждающих признаков – стертый нагар над отверстием поршневого пальца (справа), свидетельствующие о деформации (изгибе и укорочении) шатуна и работе поршня с перекосом и недоходом до ВМТ в цилиндре

Совершенно очевидно, что у поршня, "осевшего" из-за осевого сжатия шатуна, верхнее поршневое кольцо не доходит до своего штатного положения в ВМТ, в результате чего пояс нагара в верхней части цилиндра при сгорании топлива расширяется вниз на величину осевого сжатия стержня шатуна (рис.3).

При исследовании пояса нагара практически всегда можно установить, что начальное положение верхнего кольца в ВМТ было штатным, однако затем изменилось. Такое изменение и является главным (уникальным) признаком гидроудара [5].

Есть и другие признаки гидроудара, которые можно условно разделить на подтверждающие (главный признак) и уточняющие (тип жидкости, попавшей в цилиндр). Подтверждающими призна-

ками являются те, которые, так же как и главный признак, говорят о деформации шатуна и работе ДВС с деформированным шатуном. К таким признакам относятся, в том числе, 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 им противовесов в НМТ, диагональный износ шатунных подшипников, измененный цвет нагара на днище поршня и на камере сгорания по сравнению с другими цилиндрами и некоторые другие.

Однако ни один из указанных признаков не устанавливает тип жидкости, попавшей в цилиндр – для этого нужны уточняющие признаки.



Рис.4. Типичные уточняющие признаки гидроудара от попадания воды – коробление элемента воздушного фильтра (слева) и высохшие капли воды в воздуховоде (справа)

Так, при попадании в двигатель воды (водяной гидроудар) уточняющими признаками будут коробление гофров воздушного фильтра, следы намочения на картоне фильтра (рис.4), следы высохших капель воды под крышкой фильтра, в гофрах воздухопроводов и на дроссельной заслонке, а также нередко кольцевые следы коррозии на поверхности цилиндра в зоне остановки поршневых колец.

Гидроудар от натекания в цилиндр топлива (топливный гидроудар) и попадания в цилиндр масла (масляный гидроудар) случаются намного реже, при этом имеется определенная сложность выделения уточняющих признаков этих видов гидроудара, поскольку масло и топливо не оставляют следов на деталях.

Тяжелые повреждения ДВС при разрушении выпускного клапана

Основная причина разрушения клапанов – это ошибки при ремонте и обслуживании, причем

конструкции клапанных механизмов современных автомобильных ДВС стали особенно чувствительны к таким ошибкам в связи с всеобщим уменьшением диаметра стержня клапана (до 5 мм).

В практике ремонта встречаются два основных вида разрушения клапанов, а именно, обрыв стержня в верхней части по канавке для сухаря и отрыв головки клапана от стержня в нижней части [9,10,11]. Так же как и в случае гидроудара, пытаться определить причину такой неисправности только по характеру разрушения отдельных деталей, превратившихся в многочисленные деформированные вторичными ударами обломки, совершенно бессмысленно, и в данном случае следует решать обратную задачу – выявлять признаки, соответствующие конкретной причине, чтобы затем подтвердить эту причину по совпадению признаков.

Главным признаком неисправности данного вида, очевидно, является отсутствие головки клапана на ее штатном месте в седле (рис.5). Однако в отличие от главного признака гидроудара, отрыв головки может иметь не только первичный (усталостное разрушение), но и вторичный характер (мгновенное ударное разрушение от взаимодействия с обломками поршня).



Рис.5. Главный признак поломки клапана вследствие дефекта ремонта (сборки) – отсутствие головки клапана в седле (слева) и разрушение поршня (справа), при наличии подтверждающих признаков – отсутствии разрушения пальца и шатуна, а также следов касания клапанов и поршней.

Поэтому для определения причины разрушения данного типа не менее важны подтверждающие признаки, например, имеются ли следы ударов клапанов на поршнях соседних цилиндров (рис.6), разрушен ли шатун и поршневой палец, поврежден или полностью разрушен поршень, а также какова степень износа кривошипной головки шатуна и шатунного подшипника.

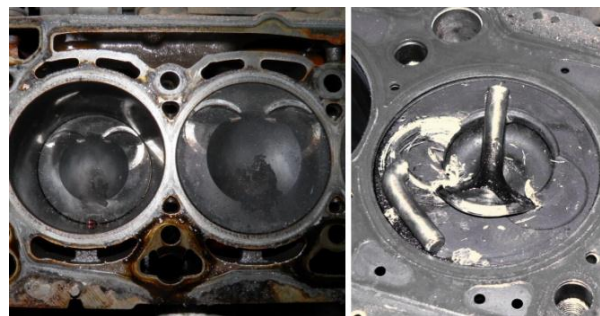


Рис.6. Уточняющие признаки для определения причины разрушения клапана – неправильная установка фаз газораспределения (следы касания клапанов на поршнях, слева) и поломка клапана по канавке для сухаря вследствие неправильной сборки (падение клапана в цилиндр, справа)

Очень важными для исследования данного вида неисправности являются уточняющие признаки локализации разрушения. Так, если стержень клапана остается в направляющей втулке, то разрушение произошло в нижней части стержня с отделением от него головки клапана, причиной чего являются ударные изгибающие нагрузки на головке клапана [2]. Тогда уточняющие признаки – это следы ударов головки клапана на днище всех поршней (рис.6), а также усталостный характер излома в нижней части стержня клапана.

Если же в цилиндре имеются фрагменты разрушенного стержня клапана (рис.6), это показывает, что разрушение произошло по канавке для сухарей, причиной чего является некачественная сборка (попадание в сопряжение грязи или использование изношенных старых деталей). Тогда после разрушения клапана тарелка пружины сохраняется неповрежденной в сборе с сухарями и обломком стержня, а излом стержня по канавке имеет специфическую микроструктуру (с включениями частиц материала направляющей втулки [10]), что говорит о чрезмерных изгибающих нагрузках в зоне сопряжения сухарей со стержнем.

Тяжелые повреждения ДВС вследствие масляного голодания

Данная неисправность возникает при нарушении подачи масла по различным причинам, среди которых преобладают эксплуатационные [1,3,7]. Главный признак неисправности – это усталостное разрушение шатуна по кривошипной головке, оно происходит вследствие износа, перегрева и разрушения шатунного подшипника с потерей прочности кривошипной головки шатуна при одновременном появлении ударных нагрузок от больших зазоров в подшипнике. Разрушение (в том числе, болтов крышки шатуна) обычно происходит с повреж-

дениями и/или пробоем стенки блока цилиндров, блока крышек коренных опор (если крышки в одном блоке), масляной форсунки (если они есть в конструкции двигателя) и даже маслососа с поддоном картера. У двигателей старой конструкции с нижним расположением распредвала может быть разрушен и распредвал.

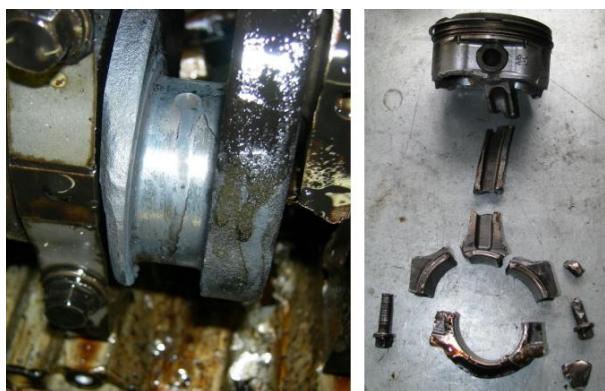


Рис.7. Пример сочетания главного признака масляного голодания (усталостное разрушение кривошипной головки шатуна – справа) с комплексом подтверждающих признаков, среди которых перегрев шатунной шейки коленвала (слева) и кривошипной головки шатуна, частичное разрушение поршня и полное разрушение шатунного подшипника

Подтверждающие признаки данной неисправности – это, очевидно, полное или частичное разрушение вкладыша, износ и перегрев шейки коленвала и кривошипной головки шатуна (рис.7), а также повреждение днища поршня от ударов по головке цилиндров (из-за смещения шатунно-поршневой группы вверх при разрушении вкладыша), что в некоторых случаях приводит к частичному или даже полному разрушению поршня.

Уточняющие признаки локализуют саму причину неисправности, среди них наиболее распространенными являются недостаточный уровень масла, неисправность маслососа, засорение маслосистемы отложениями, а также различные ошибки при ремонте и прочие причины.

Тяжелые повреждения ДВС при разрушении поршневого пальца

С разрушением поршневого пальца связаны очень тяжелые повреждения ДВС обычно в начальный период эксплуатации. Разрушение данного вида характерно для случая, когда в отверстии пальца после механической обработки остаются нештатные, т.е. не предусмотренные конструкцией, концентраторы напряжений. Такие концентраторы могут появиться при нарушениях технологического процесса – например, когда при обработке перехо-

да между внутренними поверхностями ступенчатого отверстия не выдержан радиус, или когда вместо одной галтели выполнены две (рис.8).

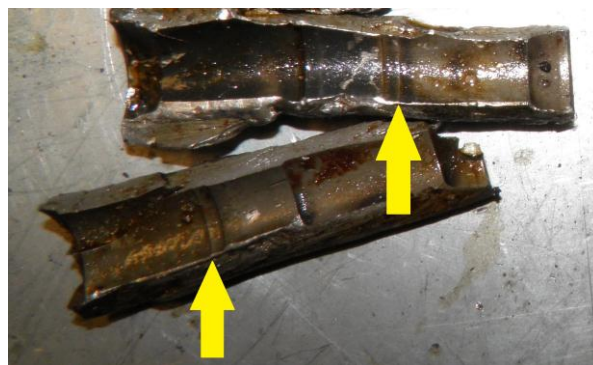


Рис.8. Характерная "двойная" галтель в отверстии поршневого пальца, обнаруженная после его хрупкого разрушения – типичный пример скрытого производственного дефекта

Концентраторы напряжения в отверстиях обычно расположены в средней части пальца, опирающейся на поршневую головку шатуна. Поскольку нагрузки на палец в этой области знакопеременны и по величине близки к максимальным, наличие концентраторов приводит к появлению усталостной трещины и ее распространению в поперечном направлении.

Появление трещины сопровождается увеличением деформации пальца (поскольку трещина "дышит"), что может вызвать слабый посторонний звук в двигателе, однако поскольку этот звук, а тем более его причину выявить до разрушения пальца не представляется возможным, предотвратить разрушение, и его последствия обычно также невозможно.

После разделения пальца на два фрагмента происходит резкое изменение характера нагрузок на бобышки поршня. Один из фрагментов – меньший, расположенный в одной из бобышек поршня, обычно полностью выходит из контакта с шатуном, что также полностью разгружает эту бобышку от каких-либо сил. Однако другой фрагмент – больший, оказывается по-прежнему в сопряжении и поршня, и шатуна, но не симметрично, а консольно. Это приводит к появлению в сопряжении чрезмерно высоких перекашивающих нагрузок (рис.9).

За счет перекаса на бобышке остаются характерные зоны деформации. Так, у внутреннего края отверстия бобышки это сравнительно широкая зона с блестящей поверхностью в направлении вверх и вниз, которую оставляет фрагмент пальца, установленный в поршневую головку шатуна, при взаимодействии с бобышкой. Ближе к наружному краю

отверстия бобышки наблюдаются узкие отпечатки от воздействия кромки поршневого пальца (рис.9), которые при постепенном осевом перемещении фрагмента превращаются в характерные мелкие "ступеньки".

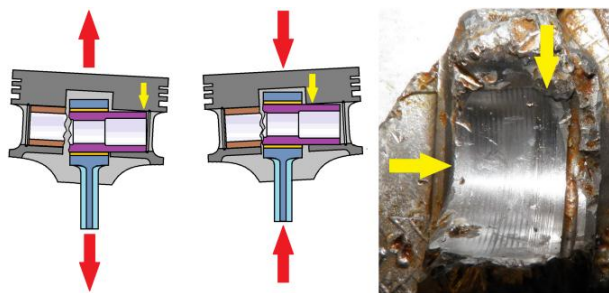


Рис.9. Схема работы поршневого пальца после поломки (слева) и образовавшиеся характерные зоны деформации на поверхности отверстия на обломке бобышки поршня (справа)

Выдержать подобные нештатные нагрузки не сможет ни поршневая головка шатуна, ни бобышка поршня, однако на практике разрушение (вследствие так называемой малоциклового усталости) всегда происходит по бобышке поршня.

Дальнейшее взаимодействие шатуна с отделенным от него поршнем быстро приводит к их дальнейшему разрушению, в которое могут быть втянуты блок цилиндров и клапаны.

Достаточно близкой по характеру повреждений и последствий разновидностью данной неисправности является нарушение осевой фиксации поршневого пальца в бобышках поршня, причем картина разрушений в данном случае может быть настолько близка к описанной выше, что позволяет объединить обе неисправности в общую, связанную с поршневым пальцем.

Нарушение осевой фиксации пальца также является производственным дефектом, поскольку вызывается, как правило, некачественным ремонтом (ремонтным производством), причем возможны два варианта в зависимости от способа фиксации пальца. Так, для плавающего пальца это выкачивание стопорного кольца из канавки в отверстии бобышки поршня из-за износа от чрезмерных ударных нагрузок на стопорное кольцо или неправильной его установки. Для неподвижного пальца нарушение фиксации связано с его смещением в отверстии поршневой головки шатуна вследствие нештатного зазора в этом сопряжении, образованного в результате перегрева поршневой головки шатуна при установке пальца во время ремонта двигателя.

При нарушении фиксации палец прогнозируемо сдвигается вбок до упора в поверхность цилиндра, чем наносит на поверхность длинную и глу-

бокую вертикальную канаву, а на кромке пальца появляется характерная полировка, что является главным признаком данной неисправности (рис.10). Однако в отличие от поломки пальца, при нарушении его осевой фиксации картина развития неисправности сильно зависит от конструкции поршня.



Рис.10. Типичные признаки нарушения осевой фиксации поршневого пальца в шатуне – канавка от пальца на поверхности цилиндра (слева, главный признак), несимметричный контакт поршневого пальца (в центре) и поврежденная торцевая поверхность пальца (справа)

Так, старые двигатели имеют сравнительно длинный палец, который 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. Напротив, у подавляющего большинства современных двигателей короткий палец при смещении до упора вбок либо вообще выходит из сопряжения с противоположной бобышкой поршня, и тогда картина становится в точности тождественной поломке пальца, либо у него остается опора только на край отверстия противоположной бобышки. В последнем случае чрезвычайно высокие удельные нагрузки на небольшую поверхность опоры вызывают катастрофический износ отверстия по узкому поясу, после чего нарастающие знакопеременные изгибающие усилия ломают ближнюю к упору бобышку точно так же, как и при поломке пальца.

Таким образом, близость процессов разрушения позволяет объединить оба варианта – поломки пальца и нарушения его осевой фиксации. Разница между процессами только в подтверждающих и уточняющих признаках. Например, при нарушении осевой фиксации поршневой палец не может быть разрушен поперечно, и даже если он попадает между вращающимися и неподвижными деталями, разрушение носит хрупкий характер и происходит вдоль его оси, а не поперек (рис.8). Соответственно, при усталостной поломке пальца не возникает повреждения цилиндра в виде вертикальной канавы от упора в нее пальца, нет и других признаков

нарушения осевой фиксации, связанных с перегревом головки шатуна либо со стопорным кольцом и его канавкой (или они выражены слабо).

Методика определения причин тяжелых повреждений ДВС

Поскольку в совокупности все признаки поз-

воляют достаточно надежно устанавливать причину разрушений по совпадению (или несовпадению) найденных признаков с описанными выше, можно построить простую методику определения причин неисправностей, если свести все известные признаки в таблицу (табл.1).

Таблица 1. Виды повреждений ДВС и их признаки

Повреждение/неисправность	Гидроудар	Обрыв клапана	Масляное голодание	Разрушение поршневого пальца или нарушение его осевой фиксации
Причина неисправности	Попадание жидкости в цилиндр (эксплуатационное повреждение или производственный дефект)	Производственный дефект сборки (при изготовлении или ремонте) сопряженных с клапаном деталей	Перегрев шатунного подшипника (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 нижней головки шатуна	Концентратор напряжения на поверхности отверстия, усталостное разрушение или нарушение осевой фиксации (неправильная установка стопорного кольца, перегрев верхней головки шатуна)
Последствия	Пробой блока цилиндров, повреждение цилиндра в нижней части, повреждение головки цилиндра и клапанов и др.	Сильное повреждение цилиндра (по всей высоте) и камеры сгорания, пробой блока цилиндров и др.	Пробой блока цилиндров, разрушение шатуна, повреждение цилиндра в нижней части и др.	Пробой блока цилиндр., разрушение поршня и шатуна, повреждение цилиндра 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, перегреве головки шатуна и шатунной шейки	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 головки шатуна, 2) повреждение днища поршня от ударов по головке цилиндра, 3) повреждение бобышек поршня снизу от ударов противовесов коленвала, 4) возможное 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.

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Уточняющие признаки	При попадании воды извне: 1) коробление гофров возд. фильтра, 2) следы намокания на картоне, 3) следы высохших капель воды в корпусе фильтра, в воздуховодах и на дросс. заслонке. При попадании масла (только ДВС с турбонаддувом) или топлива: 1) отсутствие следов высохших капель внутри воздухопроводов, 2) течь уплотнений турбокомпрессора (внутренняя негерметичность агрегатов топливной системы).	1) при разрушении в нижней части стержня: - следы ударов головки клапана на днище всех поршней, - усталостный характер излома на стержне клапана, 2) при разрушении по канавке для сухарей: - стержень клапана в цилиндре, - тарелка пружины сохраняется в сборе с сухарями и обломком стержня, - специфическая микроструктура излома.	1) низкий уровень масла, 2) неисправность или износ масляного насоса, 3) засорение масляной системы отложениями, 4) ошибки при ремонте, связанные с геометрией подшипников коленвала	1) при разрушении пальца – наличие нештатной галтели в отверстии пальца или слишком малый радиус галтели (определяется только путем разреза пальца вдоль оси), 2) 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 пальца).

Из табл.1. следует, что при наличии тяжелых повреждений ДВС для определения причины достаточно проверить имеющиеся признаки на соответствие главным признакам гидроудара, масляного голодания, дефекта сборки клапанного механизма и поршневого пальца, чтобы выбрать рабочую версию причины неисправности, которую затем также быстро подтвердить и уточнить по прочим признакам – подтверждающим и уточняющим.

Заключение

Причины тяжелых повреждений ДВС, возникающих вследствие разрушения деталей и рассогласования их возвратно-поступательного и/или вращательного движения, могут быть определены с высокой достоверностью, если использовать простую методику, в которой все известные признаки повреждений разбиты 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.

Список литературы:

1. Greuter E. *Engine Failure Analysis* [Text] / Greuter

E., Zima S. // *SAE International, R-320, ISBN 978-0-7680-0885-2. Warrendale, USA. - 2012. - 582 p. 2. Компоненты двигателя и фильтры: дефекты, их причины и профилактика. Пер.с англ. [Текст] // MC3-1109, Mahle GmbH. - 2010. - 77с. 3. Engine Failure Analysis and Tips Job Aid. Guide to Preventing Repeat Engine Failures. Version 1.0 [Text] // Ford Motor Company. - June 2013. - 23p. 4. Piston Damage - Causes and Remedies [Text] // MAHLE GmbH, Stuttgart. - 1999. - 66p. 5. Хрулев А. Гидроудар "замедленного действия" [Текст] / А.Хрулев, С.Самохин // *Автомобиль и сервис. - 2011. - №08. - С.36-39. 6. Mohammed M.N. Failure analysis of a fractured connecting rod [Text] / M.N. Mohammed, M.Z. Omar, Zainuddin Sajuri // Journal of Asian Scientific Research. - 2011. - №2. - p.737-741. 7. Хрулев А. Почему застучал вкладыш? [Текст] / А.Хрулев // *Автомобиль и сервис. - 2000. - №12. - С.14-16. 8. Engine Bearings: Failure Analysis and Correction [Text] // MAHLE Aftermarket Inc. - 2014. - 39p. 9. Поломка клапана на конце стержня. Пер. с англ. [Текст] / TRW Service Information No.SI 0028 // MS Motor Service International GmbH. - 2011. - 2p. 10. Хрулев А. Дьявол в деталях. Ч.2 [Текст] / А.Хрулев, С.Самохин // *Автомобиль и сервис. - 2012. - №03. - С.28-30. 11. Хрулев А. Баллада о кривых ручонках [Текст] / А.Хрулев // *Автомобиль и сервис. - 2014. - №09. - С.38-42. 12. Raghuvanshi N.Kr. Failure Analysis of Internal Combustion Engine Valves: A Review [Text] / N.Kr.Raghuvanshi, A.Pandey, R.K.Mandloi // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. - 2012. - Vol. 1, Issue 2. - p.173-181.*****

Bibliography (transliterated):

1. Greuter E., Zima S. (2012), *Engine Failure Analysis*, SAE International, R-320, ISBN 978-0-7680-0885-2. Warrendale, USA, 582 p. 2. *Engine components and filters: defects, their causes and prevention (2010) / MC3-1109, Mahle GmbH, 77p. 3. Engine Failure Analysis and Tips Job Aid. Guide to Preventing Repeat Engine Failures. Version 1.0 (2013, Ford Motor Company, 23 p. 4. Piston Damage - Causes and Remedies (1999), MAHLE GmbH, Stuttgart, 66p. 5. Khrulev A. (2011), "Delayed-action" hydraulic shock [Gidroudar zamedlennogo deistviya], Automobile & Service, No. 1, pp. 36-39. 6. M.N. Mohammed, M.Z. Omar, Zainuddin Sajuri (2011), Failure*