

**КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ВНЕЗАПНЫХ ОТКАЗОВ ДВС КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ**

Аметов В.А., Зубрицкий А.В., Кожяев А.В., Панова Т.А.

Томский государственный архитектурно-строительный университет, Россия

Аннотация: Даны конструкционные особенности и эксплуатационные свойства ДВС, требования технической эксплуатации и технологии ТО и ремонта, свойства ГСМ.

Ключевые слова: топлива, автосамосвал, аварийное разрушение, двигатель.

**INTEGRATED RESEARCH OF THE REASONS OF SUDDEN
FAILURES OF THE ICE OF MINERAL DUMP TRUCKS**

Ametov B.A., Zubritsky A.V., Kozhaev A.V., Panova T. A.

Tomsk state University of architecture and civil engineering, Russia, ametov@tsuab.ru

Annotation: Structural features and operational properties of internal combustion engines, requirements for technical operation and maintenance and repair technology, properties of fuels and lubricants are given.

Key words: fuel, dump truck, emergency destruction, engine.

Введение. В условиях эксплуатации транспортных и промышленных дизелей даже в гарантийные периоды возникают внезапные отказы, обусловленные действием различных конструкторско-технологических или эксплуатационных факторов [1]. С целью выяснение причинно-следственных связей механизма возникновения отказов необходимы знания смежных дисциплин, включая конструкционные особенности и эксплуатационные свойства ДВС, требования технической эксплуатации и технологии ТО и ремонта, свойства ГСМ.

Цель и задачи. Целью настоящего исследования является выяснение причинно-следственных связей возникновения внезапных отказов двигателей.

Методики. В основу настоящего исследования положены: изучение литературы и нормативно-следственной документации, органолептический анализ дефектных деталей и узлов двигателя, анализ исполнения договорных обязательств (регламента) сервисного обслуживания самосвалов семейства БелАЗ между Заказчиком и Исполнителями.

Исследование. В Кузбасской топливной горнодобывающей компании произошел внезапный отказ двигателя, который привел к аварийному разрушению цилиндропоршневой группы и блока цилиндров ДВС.

Со слов водителя карьерного автосамосвала БелАЗ-75302, работавшего в ночь с 24.06.14 г. на 25.06.14 г., внезапный отказ двигателя MTU16V.4000, проявившийся в виде сильных стуков со стороны двигателя произошел при движении самосвала, груженного породой и его движения в сторону отвала. Этому событию предшествовало проведение работ по ТО-2. Отказ произошел примерно через один час после окончания работ по ТО-2, пуска двигателя, во время движения самосвала, груженного вскрышной породой к отвалу.

Согласно «Акта выполненных работ» работы по ТО-2 автосамосвала БелАЗ-75302 осуществлялись в ночную смену с 24.06.14 г. на 25.06.14 г., а именно, с 24-00 ч ночи до 04-00 ч утра.

В соответствии с «Нормативами периодичности и трудоемкости ТО и ремонта самосвалов семейства БелАЗ», нормируемая трудоемкость работ, необходимая для выполнения ТО-2 по самосвалу БелАЗ-75302, составляет 29,6 часа.

С учетом того, что работы выполняются тремя слесарями, расчетное время проведения ТО-2 должно составить около 10 часов. Но согласно графиков ТО, на проведение ТО-1, ТО-2 и ТО-3 отводится в среднем около 4-х часов, включая время переезда мобильной автомастерской.

В Акте рассмотрения отказа ДВС 16V4000, составленном специально созданной комиссией от 14.07.14 г., имеется вывод о том, что причиной аварийного выхода из строя двигателя 16V4000C11 послужило «попадание механических частиц в масляный канал при замене масляных фильтров, вследствие чего повело 9-й коренной вкладыш коренной шейки коленчатого вала, перекрыло масляный канал 9-ой коренной шейки, чем было вызвано масляное голодание 9-й коренной и 8-й шатунной шеек и дальнейшее разрушение цилиндропоршневой группы и блока цилиндров ДВС».

Сообщается, что основным фактором, повлиявшим на отказ двигателя, является низкое качество оказания сервисных услуг по замене масла и фильтров. С этим выводом выразили несогласие представители данной сервисной организации, что нашло отражение в составленном ими «особом мнении». Это мнение представителей организации, в котором они выражают свое несогласие, следует иметь в виду, т.к. в нем сообщается, что «масляный канал подачи масла на 9-ю коренную шейку чист и наличия примесей в анализе масла нет». А если загрязнений в масле нет, то загрязнения не могли стать причиной «проворота» вкладышей 9-й опорной шейки и последовавшего за этим выходом двигателя из строя.

Из результатов испытаний проб работающего масла [2], выполненных в аттестованной химической лаборатории эксплуатирующей компании, действительно следует, что отклонений показателей качества проб моторного масла, отобранных через масломерный щуп двигателя самосвала БелАЗ-75302 по качественным характеристикам (щелочному числу, температуре вспышки в открытом тигле, кинематической вязкости, наличию воды и содержанию активных элементов присадки - кальций, цинк и фосфор) от нормативных браковочных значений показателей не выявлено.

Результаты спектрального анализа этих проб свидетельствуют, что в период с 18.05.14г. и даже днем накануне проведения работ по ТО-2, заметного износа трущихся деталей двигателя обнаружено не было.

Следовательно, в данном случае отказ носил внезапный характер и у специалистов химической лаборатории эксплуатирующей компании, накануне внезапного отказа двигателя не было информации о повышенном износе, а, следовательно, и возможности для его предотвращения.

Другое дело, что в пробы масла, отобранной согласно Акта отбора от 25.06.14г., из корпуса масляного фильтра двигателя, содержание в элементах-индикаторов износа (железа, меди, свинца, алюминия, олова и др.) превышало допустимые нормы уже в два и более раза [2].



Все отказы изделий машиностроения делятся на постепенные и внезапные [3]. Основным признаком постепенного (износного) отказа является, то, вероятность его возникновения $F(t)$ в течение заданного периода времени зависит от длительности предыдущей работы изделия. Постепенные отказы связаны с изнашиванием, коррозией, усталостностью, ползучестью и другими процессами старения материалов, из которых созданы изделия.

Внезапные отказы – это те, причиной которых являются процессы, возникшие в результате сочетания неблагоприятных факторов и случайных внешних воздействий, превышающих возможности изделия к их восприятию. Основным признаком внезапного отказа является то, что вероятность его возникновения $F(t)$ в течение заданного промежутка времени от t_1 до t_2 не зависит от длительности предыдущей работы двигателя.

В предоставленных на исследование актах, служебных записках, и «Заключении специалиста» нет системного комплексного анализа потенциальных причин возникновения внезапного отказа двигателя, связанного с комплексным нарушением функционирования его узлов и систем.

Нет элементарного анализа условий производства и технологического оборудования для выполнения работ по ТО и соблюдения, в связи с этим, технических регламентов.

Так, в «Заключения специалиста», сделан вывод о том, что главной причиной повреждения двигателя 16V4000C11, которое состоит из повреждения его головки цилиндра A8 из-за неисправной форсунки, попадания охлаждающей жидкости в камеру сгорания, работа двигателя с деформированным шатуном и продуктами разрушения поршневой группы, а также последующий отрыв шатунной крышки, повреждение выпускных клапанов и разгерметизация блока цилиндров и масляного канала» явился гидроудар, произошедший в процессе эксплуатации самосвала. Гидроудар, по мнению специалиста, произошел в

результате попадания охлаждающей жидкости в камеру сгорания цилиндра А8 и неисправной форсунки.

Однако согласиться с выводом специалиста в том, что причиной катастрофического «комплексного разрушения двигателя» послужило попадание охлаждающей жидкости в А8-й цилиндр, и возникший при этом гидроудар, нельзя без проведения дополнительного исследования, связанном с изучением самой возможности и места поступления ОЖ в ДВС в период эксплуатации. Заключение специалиста эксперт априори утверждает, что «появление трещин между рубашкой охлаждения в полости отработавших газов головки цилиндров обусловлено нарушением процесса сгорания, который является результатом использования ненадлежащего качества топлива и/или последующей эксплуатацией двигателя с неисправной топливной аппаратурой».

Такие утверждения, на наш взгляд, совершенно не обоснованы, т.к. ссылки на низкое качество дизельного топлива и наличие трещин лишены основания. Доказательством применения некачественного дизельного топлива могут служить данные контрольного лабораторного анализа, а наличие трещин, как правило, оценивается опрессовкой головок блоков.

Проведенное путем внешнего осмотра органолептическое исследование поврежденных шеек коленчатого вала, шатунных и коренных вкладышей, шатунов, поршней, поршневого пальца, гильз цилиндров, головок блока, клапанов, маслоприемника, масляной форсунки охлаждения поршня и др., указывает на то, что внезапный отказ двигателя произошел из-за разрыва поршня А8 в результате действия значительных динамических сил в кривошипно-шатунном механизме и ЦПГ. Как видно из схемы действия динамических сил в КШМ и ЦПГ (рис. 2) разрыв поршня прошел по его нижней части (юбке) в наклонной плоскости, проходящей через одну из бобышек.

Схема нарушения теплового баланса двигателя, вызванная нарушением охлаждения поршня А8 специальной форсункой, дополнительным подводом тепла от повышенного трения с сопряжением поршень-гильза цилиндра А8, образованием на боковой наружной поверхности гильзы высокотемпературного отложения показана на рис.1.





Анализ и интерпретация полученных результатов.

В результате проведения ТО-2 двигателя самосвала БелАЗ-75302, выполненного в ночь с 24.06.14г. на 25.06.14 г., без установки фильтра очистки ОЖ, специальной закладной манжеты в ЦМО, произошел слив (возврат) части отложений, накопленных и удерживаемых вращающимся фильтром ЦМО, в масляную систему. С учетом конструктивных особенностей в расположении элементов масляной системы, эти отложения, после пуска двигателя попали в канал 9-й опорной шейки и примыкающий к нему масляный канал в блоке, питающий форсунку охлаждения поршня (поз. А8). Невозможность подачи масла форсункой (4) из-за отложений, привела к нарушению теплового баланса распределения тепловой энергии горения топлива (Q_T), связанному с не достаточным охлаждением моторным маслом поршня (Q_n), что естественно способствовало повышению его температуры. На фоне общей тепловой напряженности произошло объемное расширение материала юбки поршня, выполненной из алюминиевого сплава. Это, в свою очередь, привело к заполнению зазора поршня с гильзой цилиндра и их непосредственному контакту при возвратно-поступающем движении, повышающих за счет все более возрастающих сил трения ($Q_{тр}$) и без того высокую (фактическую) температуру деталей ЦПГ.

На рис.1 представлена схема нарушения теплового баланса в ЦПГ двигателя.

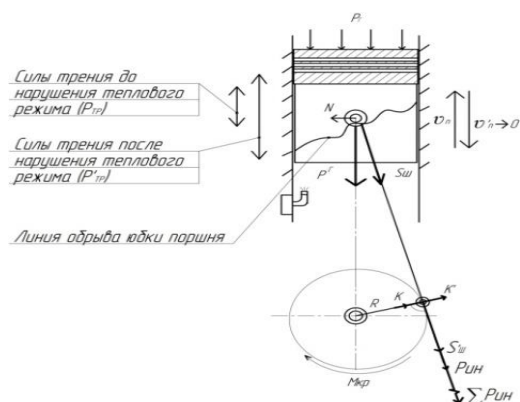


Рис. 1. Схема нарушения теплового баланса в ЦПГ двигателя

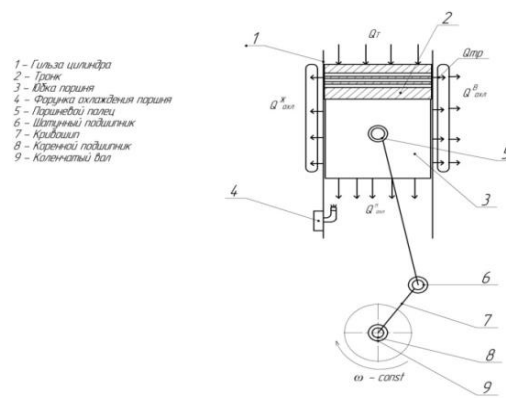


Рис. 2. Схема действия динамических сил в ЦПГ и КШМ двигателя и линия обрыва юбки поршня

В результате сильного разогрева началось схватывание между поршнем и гильзой I-го и II-го рода, увеличивающего динамические силы, действующие в ЦПГ. В частности, это привело к резкому увеличению сил и износу шатунных (поз.А8,В8) и коренных вкладышей, примыкающих к цилиндру А8. Отсюда объяснимый рост концентрации в масле элементов-индикаторов износа (железа, хрома, меди, свинца, алюминия и др.) материалов, из которых изготовлены детали ЦПГ, наблюдаемый в результатах протокола лаборатории от 25.06.14г.

Фактором, предваряющим внезапный отказ, послужила непродолжительная работа двигателя с локальным перегревом деталей цилиндра А8 (по данным DDEC около 18 секунд), приведшая к сильному локальному разогреву стенок цилиндра и поршня.

Результатом перегрева охлаждающей жидкости на стенках цилиндра послужило выпадение осадка белого цвета, представляющего собой солевые отложения присадки, выполняющего роль своеобразного «изоляционного материала». Перегрев поршня привел к разогреву его конструкции, что выразилось прихватками и тепловыми разрушениями юбки в районе перемычек и канавок поршневых колец.

Ухудшение условий граничного трения между поршнем с кольцами и втулки цилиндра (согласно данным системы контроля DDEC) привело к дальнейшему повышению температуры деталей ЦПГ. Усиление динамических сил в КШМ цилиндрах А8 и В8 привели к нарушению условий гидродинамической смазки на 8-й шатунной шейке, задиру ее поверхности и сопряженных вкладышей. Нарушение условий смазки привело к дополнительному росту теплонапряженности и росту сил трения в трибосопряжениях. В конечном итоге произошло заклинивание поршня и его остановка ($V_p = 0$) в направляющей цилиндра, что резкий вызвало рост суммарных сил инерции, действующих вдоль оси шатуна ($\Sigma P_{ин}$).

Заключения и рекомендации. Анализ исходных материалов и документов, представленных Заказчиком на экспертизу [4, 35], а также полученные в ходе настоящего исследования результаты, позволили выявить

причины и механизм возникновения внезапного отказа двигателя MTU 16V4000 самосвала БелАЗ-75302.

Внезапный отказ ДВС в виде внезапного заклинивания поршня в гильзе цилиндра А8, последовавшего разрыва юбки поршня по оси поршневого пальца за счет силы растяжения, действующей со стороны кривошипа, разбиения шатуном двух гильз цилиндров А8 и В8, блока цилиндров, поддона и других элементов, произошел в результате неблагоприятного температурного воздействия ряда факторов на узлы и детали КШМ и цилиндров (поз. А8 и В8). Толчком к отказу послужило некачественное выполнения работ поТО-2, связанное с нарушением обслуживания фильтра ЦМО, при котором не был установлена закладная манжета и не был промыт корпус ротора и внутренняя полость крышки ЦМО, о чем свидетельствуют отложения на внутренней поверхности корпусе и роторе фильтра ЦМО.

Таким образом, сочетание ряда одновременно действующих факторов, в том числе: потеря работоспособности форсунки охлаждения поршня в цилиндре А8 из-за забивки ее отверстия твердыми механическими продуктами, нарушение фаз газораспределения ГРМ из-за предельного износа толкателей в совокупности обусловили резкое повышение трения и рост температуры в сопряжениях ЦПГ, что, в свою очередь, привело к объемному расширению поршня и сначала к «закусыванию», а затем к заклиниванию его в цилиндре А8. Под действием мощного крутящего момента на коленчатом валу, обеспечиваемого работой всех остальных цилиндров, произошло разрушение сборной конструкции поршня по «юбке», выполненной из алюминиевого сплава, в результате чего «шатун показал братскую руку», вызвав катастрофические разрушения блока цилиндров, масляного поддона, двух поршней, шатунов и ряда других сопряженных узлов и деталей. Материальный ущерб, связанный только со стоимостью отказавших деталей двигателя согласно Дефектной ведомости, составил более 10,5 млн. рублей (с учетом курса Европейской валюты в России на 21 июля 2014г.).

Использованная литература

1. Автомобильные двигатели. Под ред. М.С.Ховаха. – М.: Изд-во «Машиностроение». 1977. – 591 с.
2. Аметов В.А. Предпосылки применения химмотологического подхода при проведении автотехнической экспертизы двигателей автотранспортных средств/М.В. Гаранькова, А.В. Зубрицкий, М.К. Эреджепов, В.А. Аметов // Матер. III Международной научно-практической конференции «Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса» 28 ноября – 30 ноября 2013г. – Новокузнецк, – С. 406-410.
3. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2002. – 560с.
4. Федеральный закон № 73-ФЗ «О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации» от 31.05.2001г.