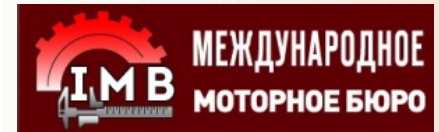
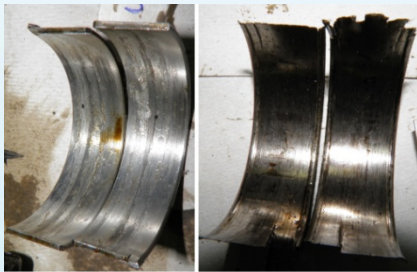
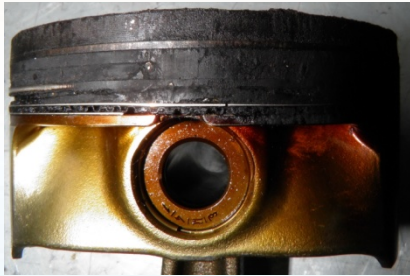


# ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРИЧИН ОТКАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ



IX Міжнародна науково-практична конференція  
«Технічне регулювання, метрологія, інформаційні та транспортні технології»  
14-15 листопада 2019 року, Одеса, Україна

# Постановка задачи исследования

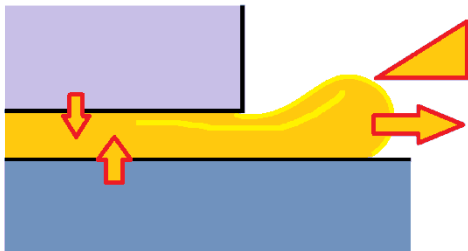
Основные функции моторного масла, обеспечивающие работоспособность и ресурс ДВС

## 1. Охлаждение деталей

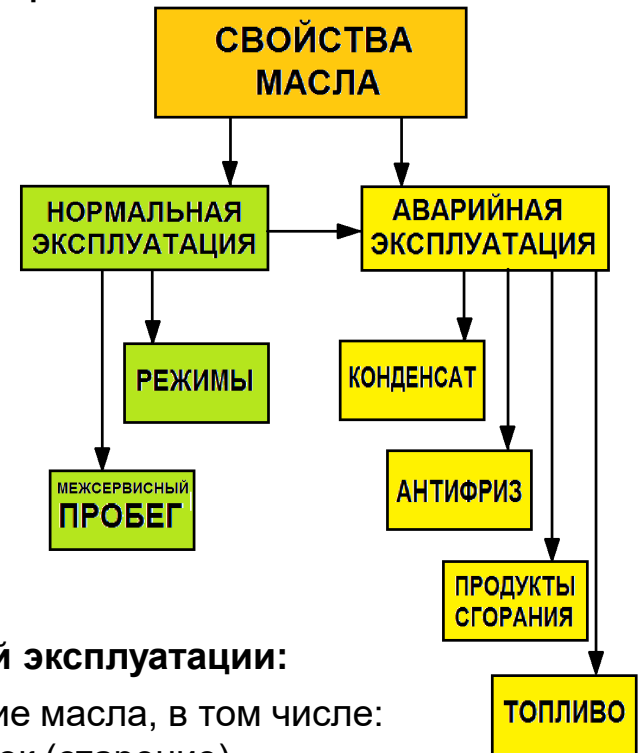
- ❑ перенос тепла от нагретых трущихся поверхностей в окружающую среду.

## 2. Смазка деталей

- ❑ разделение трущихся пар с целью недопущения их непосредственного контакта.



Масло должно иметь необходимые свойства (качество) для работы в конкретных условиях эксплуатации.



Нарушение условий эксплуатации:

- ускоренное старение масла, в том числе:
- деградация присадок (старение),
- потеря смазочных и охлаждающих свойств,
- повреждение трущихся пар двигателя.

## Цель работы

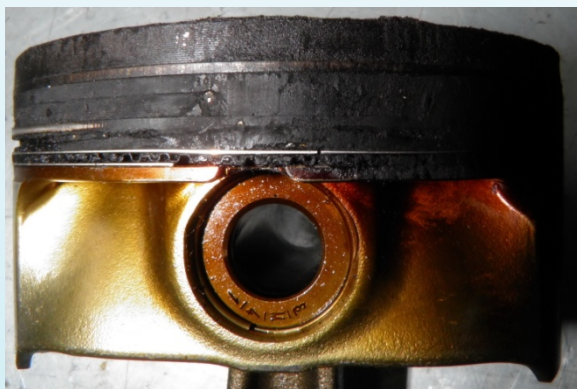
Исследование основных причин **ускоренного старения** масла в эксплуатации двигателей и разработка рекомендаций с целью правильного определения причин неисправностей, связанных со старением масла.



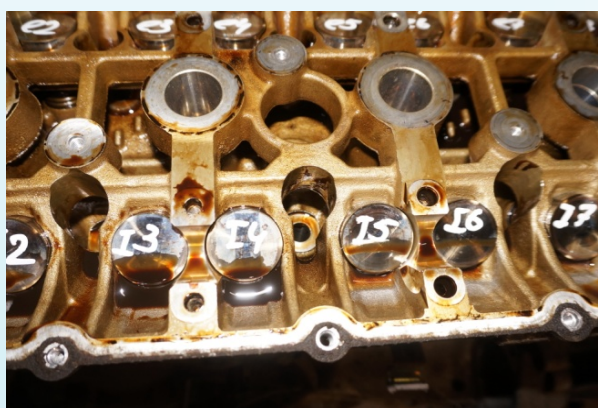
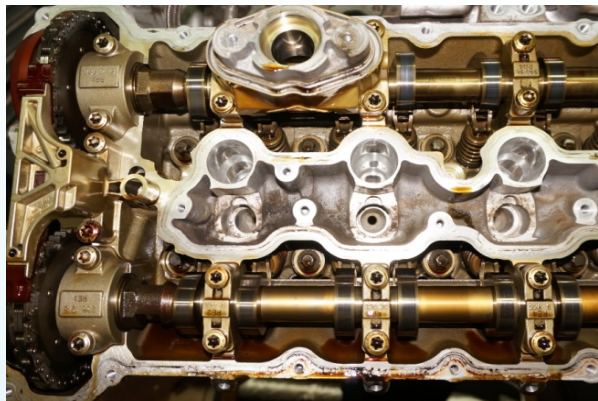
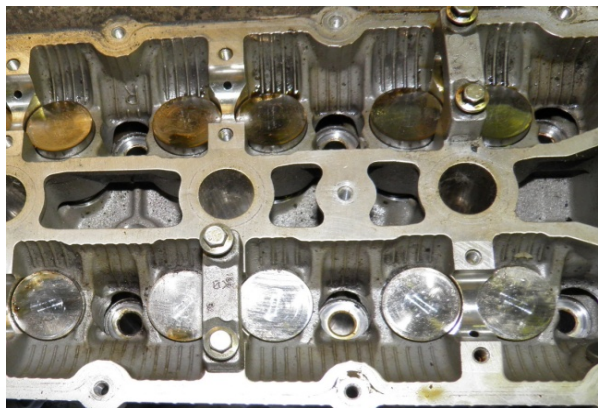
# 1. Основные причины изменения свойств масла в эксплуатации

4 группы источников воздействия на масло, вызывающих его быстрое старение:

- 1) поступление в масло посторонних веществ, включая **топливо и эксплуатационные жидкости**, влияющие на свойства масла, в том числе, вследствие **неисправности систем двигателя** – вентиляции, охлаждения, топливоподдачи,
- 2) использование в эксплуатации автомобиля каких-то **специфических режимов** и условий, которые могли воздействовать на состояние масла,
- 3) добавление в масло **различных присадок** (добавок), например, с целью улучшения каких-то характеристик двигателя,
- 4) использование **масла, не соответствующего спецификации** производителя автомобиля, в результате чего свойства масла быстро ухудшились.



## 2. Состояние внутренних поверхностей при нормальной работе



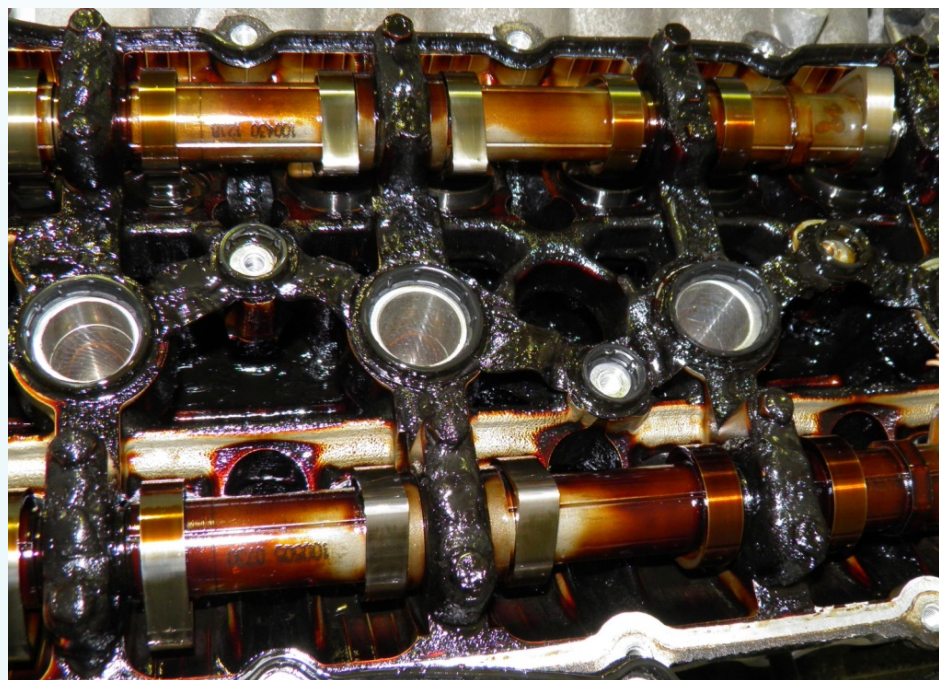
### Эталон для анализа методом сравнения:

Нормальное рабочее состояние клапанного механизма при различных пробегах автомобиля при условии нормального обслуживания (сверху вниз):

- 80.000 км
- 120.000 км
- 145.000 км



Для сравнения – головка цилиндров с загрязнениями высокотемпературным шламом при 50.000 км.



### 3. Влияние состава и свойств топлива на процесс старения масла

#### Использование несоответствующего топлива:

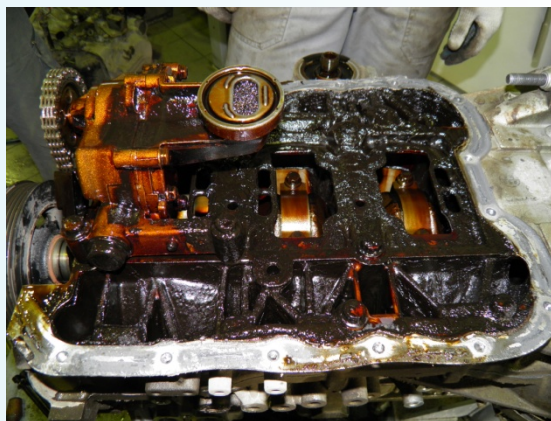
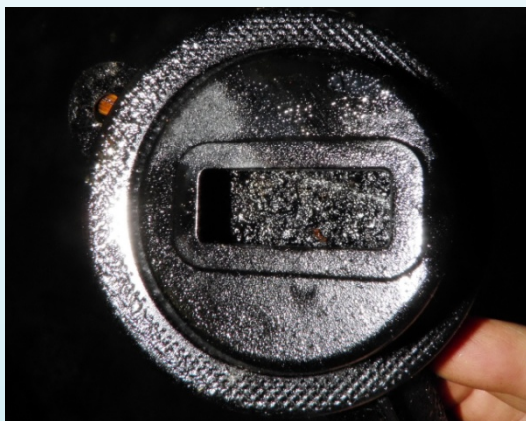
- химический состав топлива непосредственно является причиной быстрого старения масла и образования отложений на стенках.



#### Обеспечить требуемое октановое число можно двумя способами:

- 1) сложным технологическим, с высокой себестоимостью получаемого продукта,
- 2) более простым и дешевым – добавлением специальных добавок (антидетонаторов) в более дешевый низкооктановый бензин (метилтретбутиловый эфир МТБЭ, изопентан, изооктан, неогексан, бензол, толуол, ацетон, этиловый спирт и др.).

**В бензине могут быть серьезные изменения, которые непосредственно вызывают ускоренное старение масла.**



## 4. Основные причины старения масла, связанные с топливом

1. **Бензин содержит непредельные углеводороды (кубовые), являющиеся отходами нефтехимического производства** (повышение октанового числа с одновременным снижением себестоимости топлива).



При сгорании топлива в присутствии непредельных углеводородов оксиды азота образуют **нитроэфиры** – труднолетучие соединения, легко оседающие на стенках цилиндров и сбрасываемые в картер двигателя маслоотъемными кольцами. Далее при температуре около 100°C они разлагаются с **образованием кислот**, которые в свою очередь быстро реагируют со щелочными присадками масла и образуют мыло, загущающее масло вплоть до полной потери текучести.

2. **Бензин содержит те же непредельные углеводороды, но являющиеся промежуточными продуктами самого процесса производства бензина.**

Возможен брак в отдельных партиях, потери на промежуточных операциях, связанные с проливом или испарением компонентов. Октановое число у промежуточного продукта высокое, но и непредельных углеводородов в нем значительное количество. При добавлении их в нормальный бензин дальнейший процесс в камере сгорания и картере двигателя идет точно так же, как и в случае с кубовыми – **нитроэфиры-кислоты-мыло**.



3. **Бензин содержит некоторые вещества в количествах, превышающих допустимые.**

Например, чрезмерно высокое содержание этилового спирта – до 20% при допустимом содержании этого компонента не более 5-10%. Химическое воздействие продуктов частичного окисления этанола (продуктов неполного сгорания бензина с высоким содержанием этанола) с моторным маслом - выпадение в осадок вязкостной (загущающей) присадки. Особенно характерно для современных двигателей с маловязкими (энергосберегающими) маслами, имеющим вязкость по SAE 5W20 или 0W20 при эксплуатации в зимнее время (частые запуски холодного двигателя).



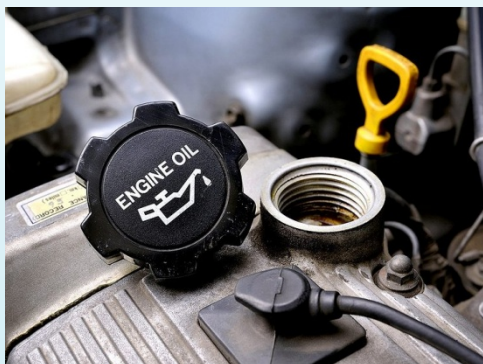
## 5. Общие принципы исследования неисправностей, связанных с маслом (1)

### Основная особенность процесса:

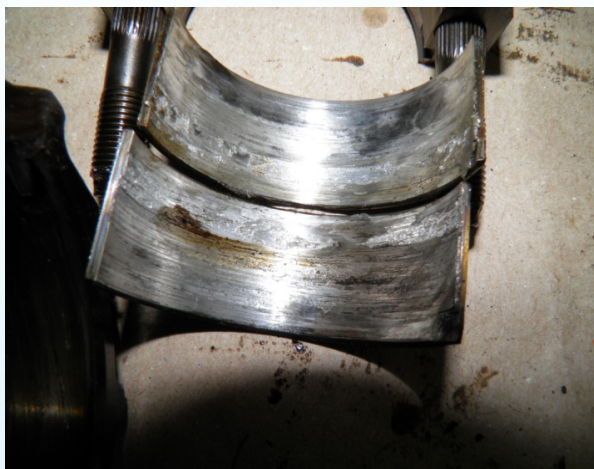
- ❑ **начало процесса загустевания масла** в результате реакции образующихся кислот с щелочными присадками проявляется в виде все более сильных отложений на внутренних стенках двигателя,
- ❑ тем самым запускается **процесс быстрого старения масла**, который не останавливается даже при последующей заправке автомобиля качественным топливом – остановить старение масла, как правило, возможно только путем его досрочной замены,
- ❑ при дальнейшей работе двигателя слой отложений настолько увеличивается, а уровень масла настолько падает, что приводит к нарушению подачи масла из-за его недостаточного уровня в картере, хотя масло из двигателя никуда и не выходило.

### Основная трудность:

- ❑ все указанные механизмы изменения свойств бензина **плохо распознаются с помощью стандартных методик анализа**, применяемых при контроле качества топлива, поскольку основные показатели бензина, представляющие собой физические параметры (ОЧ, испаряемость), часто остаются в пределах допустимых значений.



## 5. Общие принципы исследования неисправностей, связанных с маслом (2)



### Основные ошибки при исследовании

- ❑ при наличии признаков масло и топливо не исследуется или исследуется не полностью,
- ❑ исследования проводятся при отсутствии признаков.

### Основное правило исследования

- ❑ нужны конкретные признаки того, что именно изменение свойств масла могло стать причиной неисправности.
- ❑ прежде чем исследовать масло и топливо, необходимо найти соответствие между повреждениями на деталях и вызвавшими их отклонениями в свойствах масла.

### Общие признаки изменения свойств масла – объемные изменения:

- ❑ появление в объеме масла осадка,
- ❑ значительное увеличение вязкости – вплоть до потери текучести,
- ❑ сильное нагарообразование и мазеобразные отложения на стенках.

### Общий процесс повреждения

- пары бензина, прошедшие через уплотнительный пояс поршней: смешивание с картерными газами, воздействие на масло, досрочное срабатывание присадок,
- увеличение вязкости (загустевание) масла препятствует нормальной смазке и охлаждению подшипников,
- образование осадка в объеме масла, закрытие сетки маслоприемника,
- нарушение смазки всех подшипников.





## 5. Общие принципы исследования неисправностей, связанных с маслом (3)

**Локальные проблемы, связанные с маслом** - использование масла, не предназначенного для условий эксплуатации данного двигателя и не рассчитанного на его нагрузки и температуры:

- ухудшение отдельных свойств масла, в т.ч., моющих,
- образование значительных отложений на уплотнительном поясе поршня,
- блокирование пазов в маслосъемных кольцах, в тяжелых случаях – всех поршневых колец в канавках поршней.



### 2 важных правила исследования

- 1) при наличии конкретных признаков влияния масла на неисправности проводить исследование свойств масла необходимо,
- 2) при наличии таких признаков целесообразно исследование его свойств вместе со свойствами топлива.

**Специализированные химические лаборатории: необходимое оборудование, специалисты, методики.**



### Проверки 2-х видов:

- физические свойства масла** - на соответствие нормативным документам по основным параметрам, в т.ч. вязкость при 40<sup>0</sup>С и 100<sup>0</sup>С, индекс вязкости, температура вспышки, щелочное и кислотное число, содержание различных элементов, характеризующих присадки и изнашиваемые детали, загрязнения и другие параметры,
- спектральный анализ** – для точного определения основных присадок, входящих в состав масла, а также посторонних веществ и загрязнений.

## 6. Особенности исследования неисправностей, связанных с маслом



**Наибольшая сложность для специализированных химических лабораторий:**

- ❑ химические исследования, в которых требуется установить причину потери маслом своих основных свойств, в т.ч., превращения в резиноподобную массу,
- ❑ исследования, проводимые по стандартным методикам, имеют ограниченную применимость,
- ❑ ответ на вопрос, есть ли причинно-следственная связь между свойствами топлива и изменением свойств масла, может быть сильно затруднен,

**Сложности, связанные с временным фактором:**

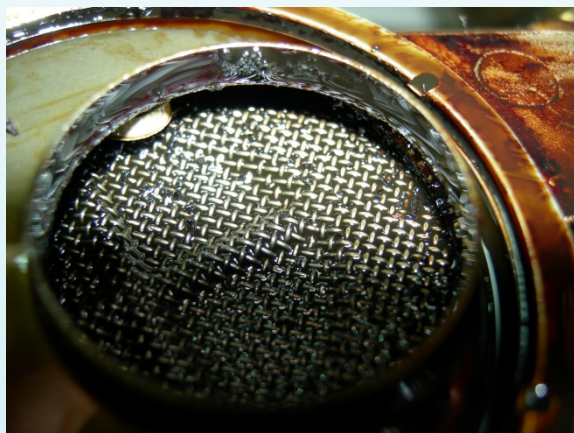
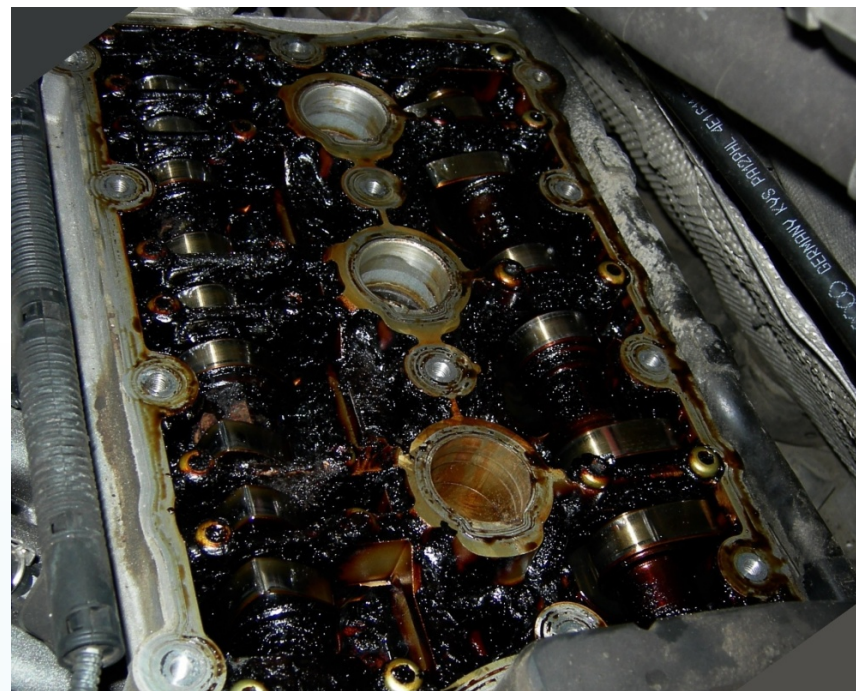
- ❑ топливо, вызвавшее деградацию присадок масла, было слишком давно заправлено и давно израсходовано, в результате чего в пробе топлива не осталось посторонних веществ,
- ❑ топливо чрезвычайно долго хранилось и его свойства сильно изменились.



## 7. Примеры исследования неисправностей, связанные с маслом (1)

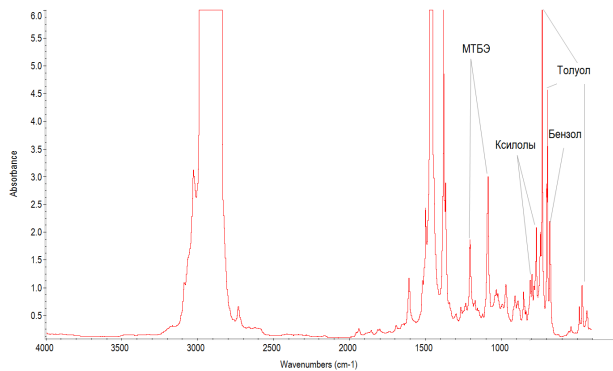
1. Заклинивание двигателя Audi A8 в результате применения не соответствующего условиям эксплуатации масла высшего качества при больших межсервисных пробегах и тяжелых режимах эксплуатации.

- ❑ режимы эксплуатации - 90% времени работы двигателя на ХХ. ТО – через 20 тыс км, масло **Castrol RS 10W60**,
- ❑ при поездке по трассе отложения в ГБЦ в виде твердого нагара были смыты в поддон картера, и далее частицы закупорили сетку маслоприемника,
- ❑ заклинивание двигателя в подшипниках распредвалов.



## 7. Примеры исследования неисправностей, связанные с маслом (2)

### 2. Остановка процесса загустевания масла путем замены масла, прогар поршня после пробега 5000 км от замены масла – двигатель KIA Carens.



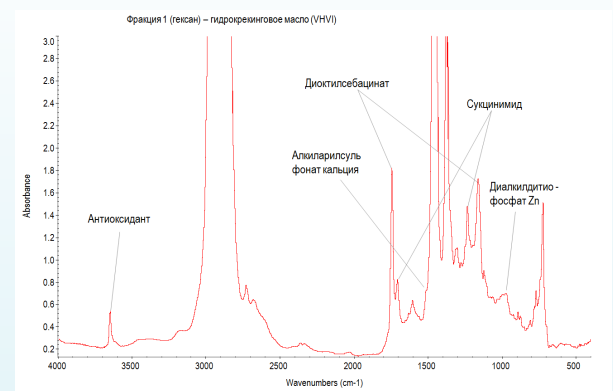
#### Бензин:

- ❑ вполне доброкачественный, но больше похож на АИ-98, нежели на АИ-95.
- ❑ испаряемость изменена – температура конца испарения выше на 15°C. Тяжелые фракции, имеющие малое ОЧ, компенсированы высокооктановыми компонентами.

#### Масло:

- ❑ исходное (свежее) масло вполне качественное 5W/30 SN/SM, основа – высокоиндексное гидрокрекингное масло с добавлением эфира (диоктилсебацат), стабилизированное фенольным антиоксидантом.
- ❑ признаки окисления и нитрации практически отсутствуют, щелочное число не изменилось, не сработана противоизносная присадка – диалкиларилдифитофосфат цинка.

Общее состояние масла вполне удовлетворительное.



Сильное нагарообразование на поршнях при наличии повышенного количества высокооктановых добавок привело к калильному зажиганию и прогару поршня.



## 7. Примеры исследования неисправностей, связанные с маслом (3)

### 3. Загустевание масла от некачественного бензина (непредельные углеводороды) - двигатель 2,0 л Hyundai Tucson

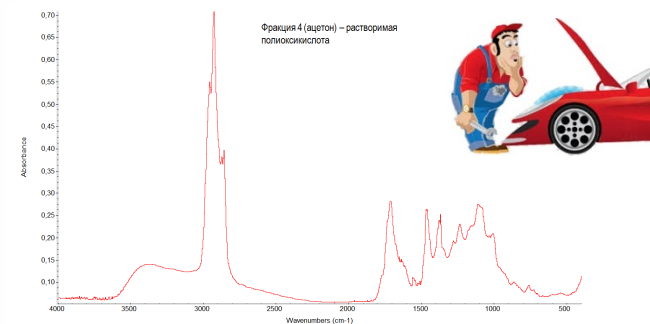
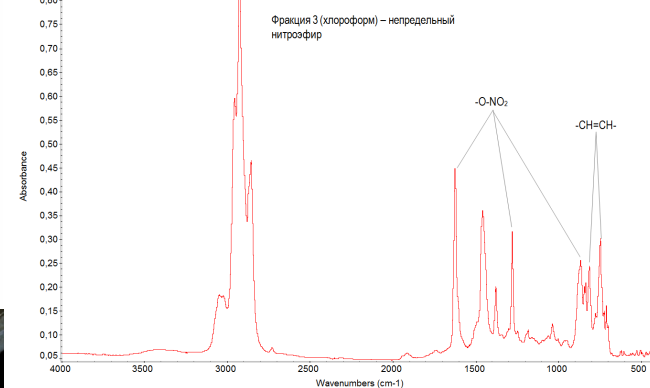
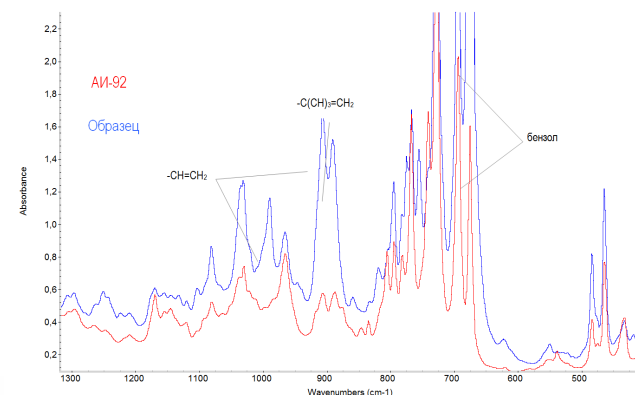
#### Бензин:

- ❑ чудовищное (~ 20%) содержание бензола,
- ❑ содержание толуола и ксилолов также завышено в 2 раза,
- ❑ интенсивные полосы ненасыщенных групп (990 и 908  $\text{cm}^{-1}$  – винил (-CH=CH<sub>2</sub>) и изопропенил (889  $\text{cm}^{-1}$ ).

Бензиновая фракция, наполовину разбавленная отходами производства изопрена – изопрен, дициклопентадиен, дипентен, с экстремальным количеством ароматики – бензол, толуол, ксилолы, для повышения октанового числа.

#### Масло:

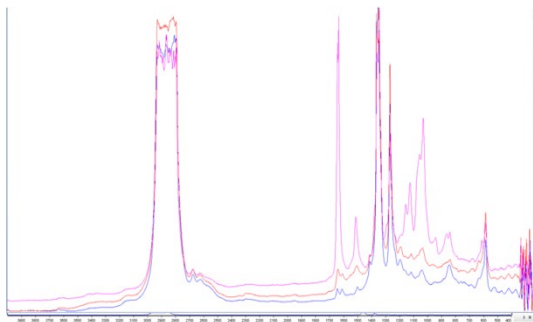
- ❑ высокая степень окисления (-COOH) и чрезвычайно высокое содержание нитроэфиров (-O-NO<sub>2</sub>),
- ❑ присадки разрушены полностью – более-менее уцелело лишь базовое масло – гидрокрекингвый VHVI.



Причина изменения масла – непредельные углеводороды топлива, обеспечивающие процесс по цепочке "окислы азота + непредельные = нитроэфиры → кислоты → мыло (мазеобразные отложения)".

## 7. Примеры исследования неисправностей, связанные с маслом (4)

### 4. Образование осадка в системе смазки а/м и выход из строя (заклинивание) двигателя Toyota V6 после пробега 1000 км



#### Масло:

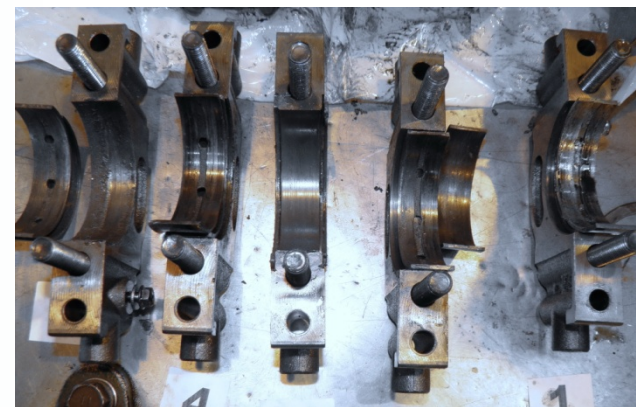
- ❑ расслоение объема масла 0W-20 на менее вязкую, чем исходное масло, часть (55...60% объема) и более вязкую, чем исходное масло, часть (40...45% объема),
- ❑ увеличение содержания кислородных соединений непропорционально сроку эксплуатации масла (чрезмерно быстрое старение – 10 раз),
- ❑ снижение вязкости жидкой части масла произошло вследствие удаления из исходного масла вязкостной присадки,
- ❑ осадок образован загущающей (вязкостной) присадкой исходного моторного масла при снижении растворяющей способности базового масла.



#### Бензин:

- ❑ в пробах бензина, взятых из топливного бака, обнаружено высокое содержание этилового спирта: до 20%, при максимально допустимом содержании 10% согласно инструкции по эксплуатации.

**Причина неисправности – содержание этилового спирта в бензине, вдвое превышающее установленное производителем автомобиля.**



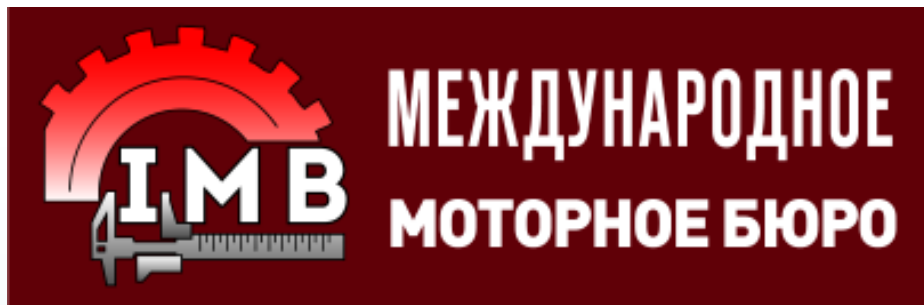
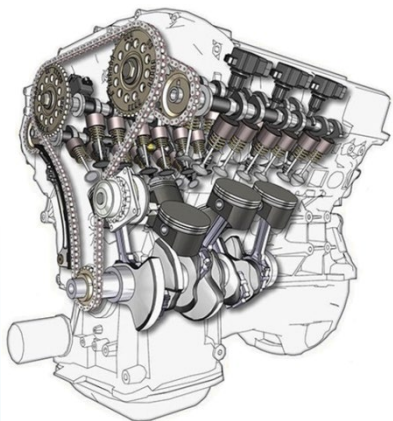
# Выводы

1. Неисправности двигателей, сопровождаемые изменениями свойств моторного масла, наиболее часто вызваны отклонениями в составе **бензина** по содержанию различных веществ, включая **непредельные углеводороды и спирты**.
2. Наиболее сильное влияние этих веществ на свойства моторного масла наблюдается в современных ДВС, эксплуатируемых на **маловязких маслах**, поскольку оно имеет общий характер и может вызвать быструю деградацию присадок, старение масла, образование в нем **осадка** и выход двигателя из строя из-за нарушения смазки подшипников.
3. Более локальные нарушения в виде **коксования поршневых колец** в канавках поршней чаще связаны с применением несоответствующего двигателю масла или с чрезмерно длительным использованием пониженных режимов эксплуатации.
4. Анализ качества топлива и масла, проводимый в специализированных лабораториях, не всегда позволяет точно устанавливать причинно-следственные связи между повреждениями в двигателе и изменениями свойств топлива и масла, что делает определение причин неисправностей ДВС, связанных с такими изменениями, одной из **наиболее трудных задач в экспертных исследованиях**.



# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

**А.Э.Хрулев**



Киевская обл., пгт Немешаево, ул. Школьная, 15, тел. +38 096 163 2183

E-mail: [alo.engine@gmail.com](mailto:alo.engine@gmail.com) [http:// www.engine-expert.com](http://www.engine-expert.com)

Украина, Одесса, ул. Комарова, 12, тел. +38 048 230 9192

E-mail: [ab-engine@ukr.net](mailto:ab-engine@ukr.net) [http:// www.ab-engine.net.ua](http://www.ab-engine.net.ua)

Россия, Москва, Шереметьевская, 85Б, стр.4, тел. +7 925 544 8195

E-mail: [ab@ab-engine.ru](mailto:ab@ab-engine.ru) [http:// www.ab-engine.ru](http://www.ab-engine.ru)