

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ**



IX Міжнародна науково-практична конференція

**«ТЕХНІЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ,
МЕТРОЛОГІЯ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТА
ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ»**

14 – 15 листопада 2019 р.

Одеса 2019

УДК 389.621:531.006.07:53.08.539.4:330:629
ББК 30
138

*Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради
Одеської державної академії технічного регулювання та якості (ОДАТРЯ)
Міністерства освіти і науки України від 31.10.2019 р., протокол № 3.*

Головний редактор:

Л. В. Коломієць, доктор технічних наук, професор, ректор ОДАТРЯ

Відповідальний за випуск:

Г. Д. Братченко, доктор технічних наук, професор.

Матеріали подані в авторській редакції.

За зміст публікації несе відповідальність автор.

Технічне регулювання, метрологія, інформаційні та транспортні технології: матеріали IX
ТЗ8 Міжнародної науково-практичної конференції (Одеса, 14-15 листопада 2019 р.) / ред. Л. В. Коломієць, Г. Д. Братченко, В. Д. Постоварова; Одеська державна академія технічного регулювання та якості. – Одеса, Бондаренко М. О., 2019. – 212 с.

ISBN 978-617-7829-24-8

У збірнику представлено матеріали конференції, присвяченої проблемам технічного регулювання та якості, в тому числі в освітній галузі та на транспорті, стандартизації та споживчої політики, метрології та метрологічного забезпечення розвитку інформаційних та транспортних технологій, економіки та управління.

Розраховано на викладачів, аспірантів, наукових та інженерних працівників, які спеціалізуються в області вивчення та дослідження цих проблем.

УДК 89:621:531:006.07:53.08:539.4:330:629
ББК 30

ISBN 978-617-7829-24-8

©Одеська державна академія технічного регулювання та якості, 2019 р.

ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОТОРНОЇ ОЛИВИ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ПРИЧИН НЕСПРАВНОСТЕЙ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Хрулев О.Е.¹

¹ – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, судовий експерт, Міжнародне моторне бюро, м. Київ, Україна

Анотація – Розглянуто основні фактори експлуатаційного впливу на моторну оливу, що викликають зміну його властивостей аж до зміни в'язкості та утворення осадку. Виявлено вплив бензину при відхиленні його нормального складу за змістом різних речовин, включаючи ненасичені вуглеводні та спирти, на старіння оливи. Наведені приклади пошкодження двигунів, а також зовнішній вигляд відкладень і осадку в результаті зміни властивостей оливи встановлено, що найбільший вплив цих речовин на властивості оливи спостерігається в сучасних ДВС, експлуатованих на малов'язких оливах, що може викликати швидку деградацію присадок, утворення в оливі осадку і вихід двигуна з ладу через порушення змащення підшипників.

Ключові слова – двигун внутрішнього згоряння, моторне олива, паливо, властивості, несправності, причини.

FEATURES OF THE STUDY OF THE ENGINE OIL PROPERTIES IN DETERMINING THE FAILURE CAUSES OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

A.E. Khrulev¹

¹ – PhD, senior researcher, International Motor Bureau, Kyiv, Ukraine

Abstract – The main factors of operational impact on engine oil, which cause a change in its properties up to an increase in viscosity and the formation of sediment, are considered. The influence of gasoline on the oil aging is revealed including the deviation of its normal composition by the content of various substances, including unsaturated hydrocarbons and alcohols. Examples of the engine damages and the deposits as a result of changes in oil properties are given. It is established that the strongest influence of these substances on the properties of engine oil is observed in modern internal combustion engines operated on low-viscosity oils, which can cause rapid degradation of additives, formation of the sediment in oil and the engine failure due to the violation of the bearings lubrication.

Keywords – internal combustion engine, engine oil, fuel, properties, faults, causes.

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРИЧИН НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Хрулев А.Э.¹

¹ – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, судебный эксперт, Международное моторное бюро, Киев, Украина

Аннотация – Рассмотрены основные факторы эксплуатационного воздействия на моторное масло, вызывающие изменение его свойств вплоть до изменения вязкости и образования осадка. Выведено влияние бензина при отклонении его нормального состава по содержанию различных веществ, включая непредельные углеводороды и спирты, на старение масла. Установлено, что наиболее сильное влияние этих веществ на свойства масла наблюдается в современных ДВС, эксплуатируемых на маловязких маслах, что может вызвать быструю деградацию присадок, образование в масле осадка и выход двигателя из строя из-за нарушения смазки подшипников.

Ключевые слова – двигатель внутреннего сгорания, моторное масло, топливо, свойства, неисправности, причины.

Как известно, моторное масло в ДВС выполняет чрезвычайно важные функции и тем самым обеспечивает и работоспособность, и ресурс двигателя. Основные функции масла – это охлаждение деталей и их смазка. Охлаждение обеспечивается переносом теплоты от нагреваемых за счет трения пар (подшипники) или горячих газов (поршень) деталей в поддон картера и/или специальное устройство для охлаждения масла (маслорадиатор). Смазочные свойства масла связаны с его способностью разделять трущиеся поверхности пленкой (масляным клином), чтобы исключить их соприкосновение, изнашивание, перегрев, плавление, задиры и выход из строя [1].

Понятно, что для удовлетворения таким требованиям моторное масло должно обладать определенными свойствами или качеством. Однако в некоторых случаях, связанных как с режимами эксплуатации, так и с поступлением в масло различных веществ, охлаждающие и смазывающие функции масла могут нарушаться (рис. 1).



Рисунок 1 – Свойства моторного масла оказывают решающее влияние на работоспособность и ресурс ДВС: при воздействии на масло различных факторов его свойства могут измениться, в результате чего эксплуатация из нормальной превратится в аварийную

Основная проблема, которую может вызвать масло в эксплуатации, нередко связана с несоответствующими двигателю присадками или их срабатыванием. Например, в масле могут отсутствовать в требуемом количестве некоторые присадки, необходимые для надежной работы двигателя – противозадириные, противокислительные, моющие, антикоррозионные и др. [2] Причем, в ряде случаев обнаруживается, что в исходном масле все необходимые присадки имелись, но были сработаны в эксплуатации в результате старения масла [3, 4].

Известно, что в процессе старения масла наблюдается изменение концентрации, строения и эффективности присадок в результате разложения, взаимодействия с продуктами сгорания топлива и окисления масла, фильтрующими элементами и деталями. Например, уменьшение щелочного числа (концентра-

ции моющих присадок) в эксплуатации сопровождается накоплением в масле кислых продуктов, что может вызвать коррозионный износ деталей. Особенно опасно попадание в масло легких фракций топлива, которые обладают низкой стабильностью к окислению. Моторное масло, загрязненное топливом, окисляется значительно быстрее с образованием органических кислот и отложений, которые ухудшают его качество [5]. В результате возможно повреждение подшипников, вызванное не только снижением вязкости масла при его разжижении топливом, но чаще связанное с интенсификацией химических процессов нагаро- и шлакоотложения, включая сильное загустевание масла [1].

В общем случае моторное масло может изменить свои свойства в результате следующих 4-х главных причин [3]:

- 1) неисправности систем двигателя, в том числе, вентиляции, охлаждения, топливоподдачи, в результате чего возможно поступление в масло посторонних веществ, в том числе, топлива и эксплуатационных жидкостей, влияющих на свойства масла,
- 2) использование в эксплуатации автомобиля каких-то специальных режимов и условий, которые могли воздействовать на состояние масла,
- 3) добавление в масло различных присадок, например, с целью улучшения каких-то характеристик двигателя,
- 4) использовано масло, не соответствующее спецификации производителя автомобиля, в результате чего свойства масла быстро ухудшились.

Действительно, ускоренное старение масла нормального качества нередко наблюдается в случаях неисправностей систем двигателя, включая неисправности системы вентиляции двигателя, когда при эксплуатации в двигателе образуется большое количество водяного конденсата, неисправности системы охлаждения с попаданием антифриза в масло, неисправности топливной системы, с попаданием в масло большого количества топлива (разжижение масла), а также несоответствие свойств топлива требованиям стандарта, при которых в масло попадают различные вещества, приводящие к быстрому старению масла [6]. Большинство из указанных причин может быть установлено путем диагностической проверки, за исключением анализа свойств топлива и масла, проводимого в специализированных лабораториях.

Использование в эксплуатации автомобиля специальных режимов и условий также приводит к воздействию на состояние масла, при котором происходит его быстрое старение. Такими условиями часто оказываются чрезмерно длительные межсервисные интервалы, не соответствующие условиям эксплуатации двигателя и/или свойствам масла, преимущественно короткие периоды пусков без полного прогрева двигателя, особенно в холодное время года, а также длительные режимы работы двигателя на холостом ходу. Тогда при малом пробеге автомобиля время работы двигателя в моточасах оказывается чрезмерно большим. За это время масло подвергается старению, в то время как по пробегу срок выполнения техобслуживания (ТО) не наступает. В этой связи аналогичное действие на масло может оказать и перепробег автомобиля между очередными ТО, допускаемый в эксплуатации [3].

Главные признаки применения таких режимов и перепробега автомобиля связаны с потерей маслом моющих свойств, что согласно имеющегося опыта прямо ведет к повышенному нагарообразованию во внутренних полостях дви-

гателя (рис. 2). Т.е. возможные признаки использования таких режимов эксплуатации включают образование на внутренних поверхностях стенок двигателя больших отложений со специальными свойствами – мажеобразных, рыхлых, с поступлением крупных частиц и осадка в моторное масло (поддон картера). При этом особенно большой слой отложений может быть расположен на поверхностях головки цилиндров и под клапанной крышкой, где практически нет течения масла [7]. В наиболее тяжелых случаях происходит блокирование/коксование поршневых колец в канавках поршней, но в 1-ю очередь, маслосъемных, а не компрессионных. Тем не менее, при анализе указанных признаков следует учитывать, что отложения на внутренних стенках двигателя являются чаще главными признаками быстрого старения масла нормального качества, а не применения масла несоответствующего качества.

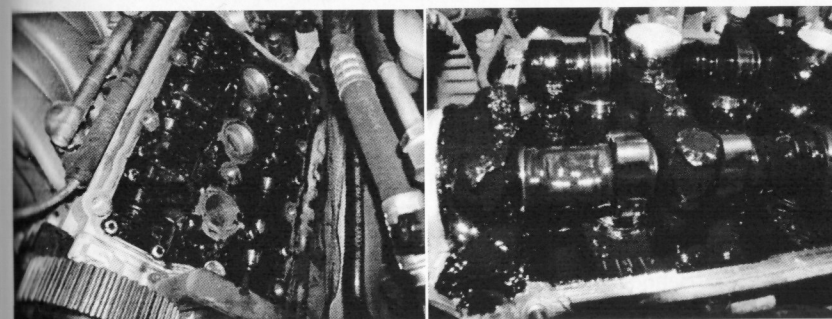


Рисунок 2 – Типичные случаи сравнительно «легкого» изменения свойств моторного масла в виде твердого нагара (слева) и мажеобразных отложений (справа) на стенках.

Добавление в масло различных средств (добавок), например, с целью улучшения каких-то характеристик двигателя иногда также встречается на практике. При этом главный вопрос может заключаться не в том, добавлялось или не добавлялось что-либо в масло, а в том, могло ли добавленное в масло вещество вызвать имеющееся в двигателе нагарообразование? Другими словами, если в двигателе есть признаки ухудшения свойств масла, и установлено, что были использованы какие-то добавки, то еще не очевидно, что произошла «порча» масла добавками. В таком случае следует обязательно рассмотреть и обратную версию – когда добавки были использованы как средство против каких-то признаков неисправности.

Влияние состава и свойств топлива на процесс старения масла.

Одним из главных факторов, вызывающих в некоторых случаях катастрофически быстрое старение масла, является использование несоответствующего топлива. Понятие «несоответствующее» в рассматриваемом случае означает определенный химический состав топлива, который непосредственно является причиной быстрого старения масла и образования отложений на стенках.

Подобные изменения в масле встречаются на практике [5, 8]. Известно, что при производстве бензинов одной из главных задач является обеспечение тре-

буемого октанового числа. Производить бензин с высокими показателями октанового числа можно двумя способами: сложным технологическим, что обуславливает высокую себестоимость получаемого продукта, и более простым и дешевым – путем добавления специальных добавок (антидетонаторов) в более дешевый низкооктановый бензин. Так, один из широко распространенных в настоящее время способов увеличения октанового числа бензина основан на добавлении метилтретбутилового эфира (МТБЭ), в качестве антидетонаторов также применяются изопентан, изооктан, неогексан, бензол, толуол, ацетон, этиловый спирт и др.

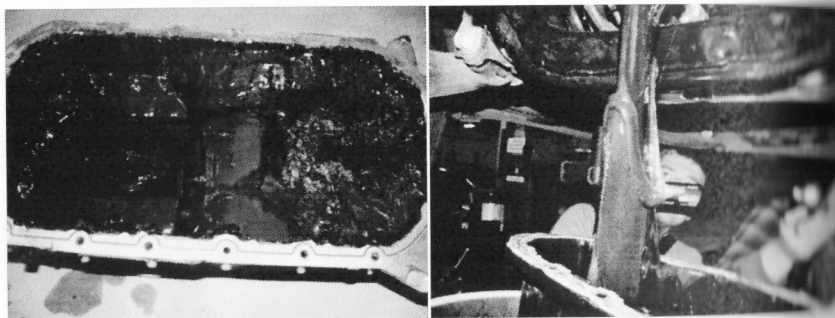


Рисунок 3 – Наиболее тяжелые случаи изменения свойств моторного масла происходят при воздействии топлива: образование осадка (слева) и преобразование масла в «резиноподобную» массу (справа)

В прошлые годы для повышения октанового числа (ОЧ) бензина широко применялось добавление ферроценовых (содержащих соединения железа) активных компонентов в топливо. В настоящее время использование ферроценов не соответствует международным экологическим нормам, поэтому в качественном топливе такие присадки не применяются [9]. Однако, помимо ферроценов, в бензине могут быть и более серьезные изменения, которые непосредственно вызывают ускоренное старение масла (рис.3). Исследования [13, 14] показывают, что это возможно в 3-х случаях:

1. Бензин содержит непредельные углеводороды, являющиеся отходами нефтехимического производства. Так, при производстве синтетических вязких масел образуются побочные продукты, содержащиеся в нижней кубовой части ректификационной колонны и называемые «кубовые», в которых содержится очень много непредельных углеводородов. При добавлении их в бензин повышается октановое число с одновременным снижением себестоимости топлива. При сгорании топлива в присутствии непредельных углеводородов, особенно при высокой степени сжатия, характерной для современных двигателей, окислы азота образуют нитроэфиры, которые являются труднолетучими соединениями, легко оседающими на стенках цилиндров и сбрасываемыми в картер двигателя масляеъемными кольцами, где при обычных для масла в картере температурах около 100⁰С они разлагаются с образованием кислот, которые в свою очередь быстро реагируют со щелочными присадками масла и также быстро образуют

мыло, загущающее масло вплоть до полной потери текучести.

2. Бензин содержит те же непредельные углеводороды, но являющиеся промежуточными продуктами самого процесса производства бензина. Как известно, готовая продукция любого предприятия строго контролируется. Однако контроль полуфабрикатов намного слабее, возможен и брак в отдельных партиях продукта, и потери на промежуточных операциях, связанные с проливом или испарением компонентов. Октановое число у этого 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 ограничении действующих стандартов по содержанию этого компонента не более 5-10 %. В результате химического воздействия продуктов частичного окисления этанола (продуктов неполного сгорания бензина с высоким содержанием этанола) с моторным маслом происходит выпадение в осадок вязкой (загущающей) присадки. Особенно данный случай характерен для современных двигателей с маловязкими (энергосберегающими) маслами, имеющим вязкость по SAE 5W20 или 0W20 при эксплуатации в зимнее время (частые запуски холодного двигателя).

Начало процесса загустевания масла в результате реакции образующихся кислот с щелочными присадками проявляется в виде все более сильных отложений на внутренних стенках двигателя. Фактически 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. В результате при дальнейшей работе двигателя слой отложений настолько увеличивается, что 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.

Общим для всех указанных механизмов изменения свойств бензина является то, что они 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.

Общие принципы исследования причин неисправностей, связанных с качеством масла.

Действительно, основное правило, которого необходимо придерживаться при исследовании таких неисправностей – нужны конкретные признаки того, что именно изменение свойств масла могло стать причиной неисправности. Таковыми признаками может быть появление чрезмерных отложений на внутренних стенках, образование осадка, частиц, забивающих сетку маслоприемника и т.д. Причем многие из этих признаков могут быть обнаружены еще на предварительной стадии исследования, без выполнения разборки двигателя.

Однако само по себе отклонение в свойствах масла совсем не обязательно является причиной неисправности – необходимо найти соответствие между по-

вреждениями на деталях и вызывавшими их отклонениями в свойствах масла. Поэтому при наличии соответствующих признаков изменения свойств масла полезно разделить их по влиянию на двигатель на общие и локальные. Так, общими признаками изменения свойств масла можно обозначить объемные изменения, например, появление в объеме масла осадка, значительное увеличение вязкости – вплоть до потери текучести, а также сильное нагарообразование и мазеобразные отложения на стенках. Очевидно, такие признаки говорят об определенных изменениях, которым был подвергнут весь объем масла в двигателе в целом. В соответствии с этим масло изменило свои свойства так, что это вызвало в системе смазки соответствующие нарушения общего характера [3, 5, 7].

Обычно подобное изменение свойств приводит к уменьшению подачи масла к отдельным или даже всем трущимся парам, на некоторых или на всех режимах работы двигателя – в зависимости от степени изменения свойств и скорости такого изменения. Например, пары бензина, прошедшие через уплотнительный пояс поршней, при смешивании с картерными газами воздействуют на масло, что может вызвать общее изменение свойств масла, включая досрочное срабатывание присадок. Возникающее при этом увеличение вязкости (загустевание) масла препятствует нормальной смазке и охлаждению подшипников, а образование осадка в объеме масла может частично или полностью закрыть сетку маслоприемника, что вызовет нарушение смазки всех подшипников независимо от температуры и других параметров (рис.4).

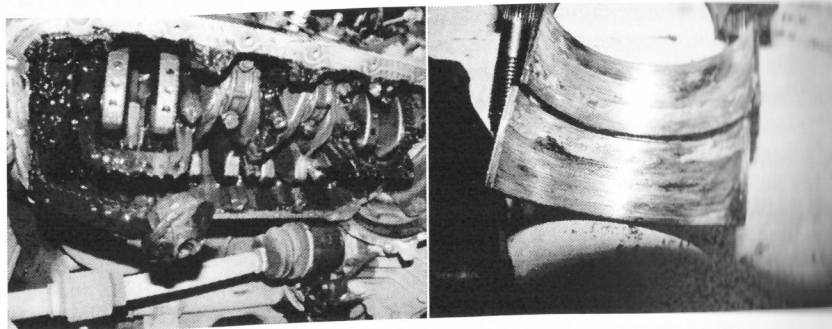


Рисунок 4 – Непродолжительная работа на масле с осадком (слева) закономерно приводит к закупориванию маслоприемника и выходу из строя подшипников (справа).

Помимо общего изменения свойств, возможны и локальные проблемы. К ним условно можно отнести ухудшение отдельных свойств масла, например, моющих, когда образуются локальные отложения на определенных поверхностях. В качестве примера можно привести образование значительных отложений на уплотнительном поясе поршня, что сопровождается блокированием пазов в маслосъемных кольцах, а в тяжелых случаях – всех поршневых колец в канавках поршней (рис. 5). Такая картина возможна также при использовании масла, не предназначенного для условий эксплуатации данного двигателя и не

рассчитанного на высокие нагрузки и температуры [3].

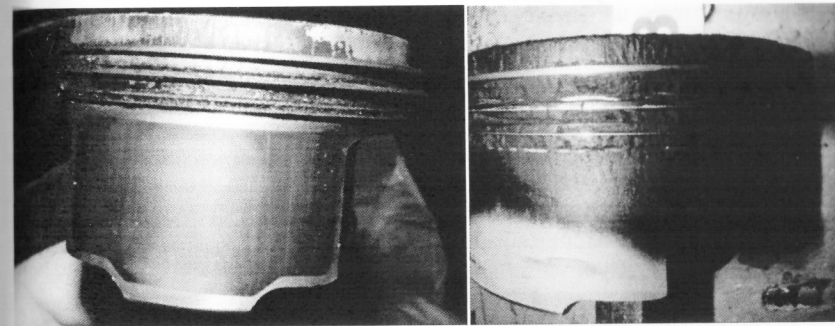


Рисунок 5 – Характер воздействия на масло, который условно можно отнести к локальному: от блокирования пазов в маслосъемных кольцах (слева) до полного блокирования всего уплотнительного пояса поршня (справа).

Очевидно, на предварительной стадии исследования неисправного двигателя признаки того, что масло могло как-то повлиять на неисправность, установить не всегда удастся. В этом случае может быть полезным взять пробы масла и топлива, далее сохранить их на тот случай, когда в процессе последующей разборки подозрение о связи свойств масла с неисправностью подтвердится, чтобы затем провести необходимые исследования.

С другой стороны, следует отделять причину неисправности и ее следствия. Во многих случаях изменение свойств масла вызывается деградацией входящих в него присадок [10]. А это могут быть различные присадки. Например, деградация загущающих присадок обычно приводит к описанному выше образованию осадка. А сильное нагарообразование может быть связано потерей свойств других присадок, например, моющих и противоокислительных. Но главное в другом – для бензиновых двигателей главным "деградационным" фактором следует признать применяемое топливо. Именно в топливе могут содержаться самые сильные вещества – например, непредельные углеводороды, спирты, которые при попадании через поршневые кольца в картер в самых малых количествах способны вызвать быстрые и фатальные изменения.

Исходя из этого, если на основании конкретных признаков влияние масла на неисправности представляется вполне возможным, проводить исследование свойств масла необходимо. А при наличии признаков изменения свойств масла целесообразно исследование его свойств вместе со свойствами топлива.

На практике в случае необходимости исследования моторного масла и топлива принято обращаться в соответствующие специализированные химические лаборатории, располагающие всем необходимым оборудованием, специалистами, методиками исследования и т.д. При исследовании моторного масла в лабораториях обычно проверяют свойства масла на соответствие нормативным документам по основным параметрам, среди которых вязкость при 40°C и 100°C, индекс вязкости, температура вспышки, щелочное и кислотное число,

содержание различных элементов, характеризующих присадки, изнашиваемые детали, загрязнения и другие параметры.

Помимо этого, при необходимости проводят исследование химического состава методами спектрального анализа – для точного определения основных присадок, входящих в состав масла, а также посторонних веществ и загрязнений [11]. Все эти данные используются далее для исследования причин изменения свойств масла (если оно обнаружено) и его взаимного влияния на работу узлов и деталей двигателя. Аналогично может быть исследовано и топливо – с определением не только физических параметров (октанового числа, испаряемости и др.), но и состава с помощью спектрального анализа.

Нередко искомый вид химических исследований, когда требуется установить причину, по которой масло потеряло свои основные свойства, а тем более, превратилось в резиноподобную массу (рис. 6), представляет наиболее серьезную сложность для специализированных химических лабораторий. Основная причина трудностей заключена в том, что исследования, проводимые по стандартным методикам, имеют ограниченную применимость для ответа на вопрос, есть ли причинно-следственная связь между свойствами топлива и изменением свойств масла. Кроме того, во многих случаях такое исследование ничего и не может дать – просто по причине того, что топливо, вызвавшее деградацию присадок масла, было слишком давно заправлено и так же давно израсходовано, в результате чего в пробе топлива не осталось и следа посторонних веществ.

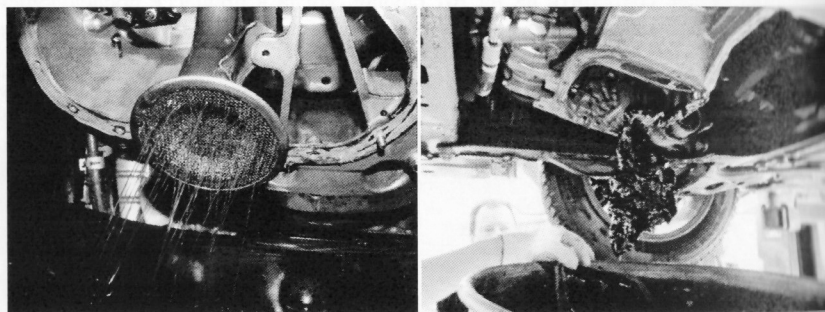


Рисунок 6 – «Обрезиненное» масло после пробега нового автомобиля 450 км (слева) и «резиновая подошва» из масла, обнаруженная при снятии поддона картера двигателя нового автомобиля после пробега менее 1000 км (справа).

Напротив, что если никаких признаков воздействия на двигатель масла с нештатными свойствами нет, или их не удастся найти, проводить исследования масла, а, тем более, топлива, бесполезно – их просто не к чему приложить, и они ни о чем не говорят. Например, имея признаки разрушения подшипников коленчатого вала, нет смысла исследовать состав масла на содержание в нем большинства присадок – просто потому, что на работоспособность подшипников скольжения, главным образом, влияет подача и вязкость масла, а не присадки. А на неисправности клапанного механизма нередко не влияет ни вязкость, ни присадки. В этом заключена особенность подобных исследований

результат анализа свойств масла и топлива, сам по себе, как правило, не указывает на причину неисправности, но может подтвердить версию, выдвинутую на основании исследования признаков повреждения деталей.

Выводы

Из многих неисправностей, встречаемых в эксплуатации ДВС и обусловленных изменениями свойств моторного масла, наиболее серьезными по своим последствиям являются те, которые связаны с бензином, если в нем имеются отклонения от нормального состава по содержанию различных веществ, включая непредельные углеводороды и спирты. 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. 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. При этом 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.

ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)

- [1] Хрулев А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей [Текст] / А.Э. Хрулев // Москва: За Рулем, 1998. – 440 с.
- [2] Балабанов В.И. Автомобильные присадки и добавки [Текст] / В.И. Балабанов, В.Ю. Болгов // Москва: Эксмо, 2011. – 152 с.
- [3] Хрулев А. Экспертиза технического состояния и причины неисправности автомобильной техники [Текст] / А.Хрулев, С.Лосавио, В.Дроздовский // Москва: Издательство АБС, 2019. – 966 с.
- [4] Буцкий Ю. Масло в моторе (2011). Автомобиль и сервис, 03, 36-44.
- [5] Буцкий Ю., Хрулев А. (2013). Заправляться или бдеть? Автомобиль и сервис, № 06, 24-26.
- [6] Нигматуллин И. Поломка автомобиля из-за попадания воды и антифриза в масло (2018). АБС-авто, 05, 24-27.
- [7] Хрулев А., Томилин С. Масло или "масло" (2010). Автомобиль и сервис, 12, 22-25.
- [8] Хрулев А. Бензин как причина поломки (2014). Автомобиль и сервис, 12, 34-36.
- [9] Кузнецов А.В. Топливо и смазочные материалы [Текст] / А.В. Кузнецов // Москва: КолосС, 2007. – 199 с.
- [10] Храмов Н.В., Королев А.Е. (2014). Старение моторного масла. Известия ТулГУ. Технические науки, 4, 134-138.
- [11] Predictive Equipment Maintenance. Oil Analysis Handbook. 3d Edition. Chelmsford: Spectro Scientific Inc., 2017.