Смирнов Сергей



МАСЛО

Expert

Москва, 2022

Оптимизация интервала замены на основе практической модели старения масла

Суть проблемы: за последние три десятилетия произошли кардинальные перемены сразу в нескольких смежных областях автомобильной эксплуатации.

А именно:

1. Резкая смена конструкторской парадигмы: «даунсайзинг» (уменьшение рабочего объема блока цилиндров, с последующей компенсацией недостатка воздуха механическим наддувом), как следствие борьбы за повышение КПД ДВС, повлекшее **резкое снижение удельной металлоемкости.**

Меж тем, послевоенная (европейская, преимущественно малолитражная и «высокооборотистая») конструкторская школа просуществовала фактически без существенных изменений примерно с начала-середины 60-х по конец 90-х XX в.

Американская же (большой литраж, низкие обороты и низкая удельная форсировка), так и вообще была существенно неизменной на протяжении 70-80 лет.

Пример: европейская серия двигателей FIAT TwinCam (1966) дожила, фактически, до 2012 года.

https://www.drive2.ru/b/478419500551635227/

Типичный пример массового двигателя малолитражки: ВАЗ 2106 – до 80 л.с., до 120 Нм, 1600 куб.см., поршень массой около 400 г.

Данные характеристики вполне типичны и для абсолютного большинства европейских автомобилей послевоенного периода. Никаких существенных изменений в этом смысле не прослеживалось вплоть до конца 90-х годов:



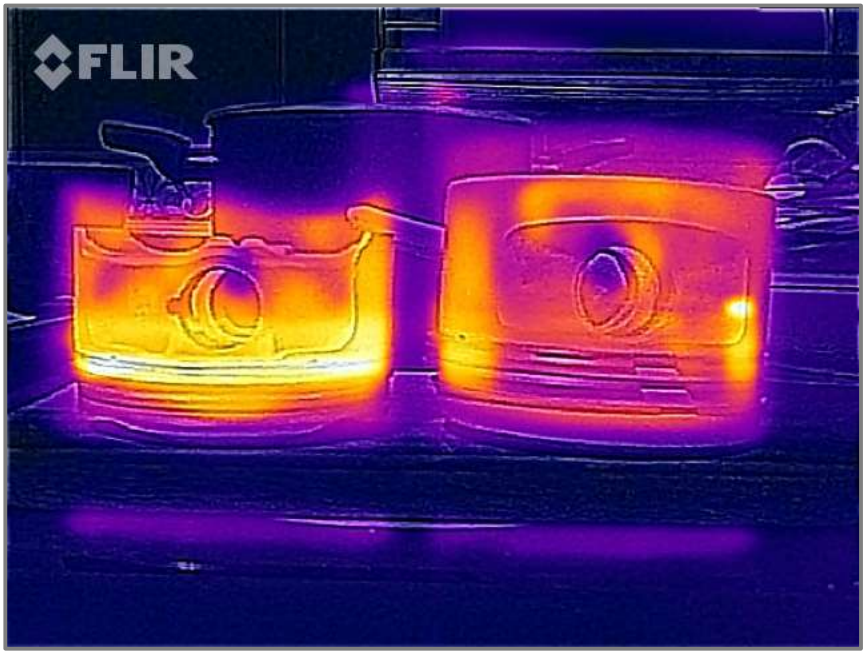
Еще один характерный пример – глобальная серия двигателей BMW M10/M30 просуществовала без изменений в «железе» от середины 60-х до конца 80-х – без малого тридцать лет! Сейчас же поколения ДВС у абсолютного большинства производителей полностью (принципиально) сменяются примерно каждые семь лет.

Рассмотрим любой современный аналог по кубатуре, например, единую для целого ряда производителей, серию двигателей «Prince»: она не только форсирована в 2-2,5 раза, по отношению к вышеуказанным показателям, типичным для 60-90-х годов, но и масса ее облегченного поршня (без пальца) составляет всего 200 г – почти в два раза легче.

Пример подобного сопоставления поршней равных диаметров:



Все это существенно увеличивает удельную нагрузку (включая и тепловую) как на структурные компоненты ДВС, так и на (соприкасающееся с ними) масло в частности – при равном подводимом тепле, жаровой пояс современных поршней значительно более нагружен – является концентратором тепла.

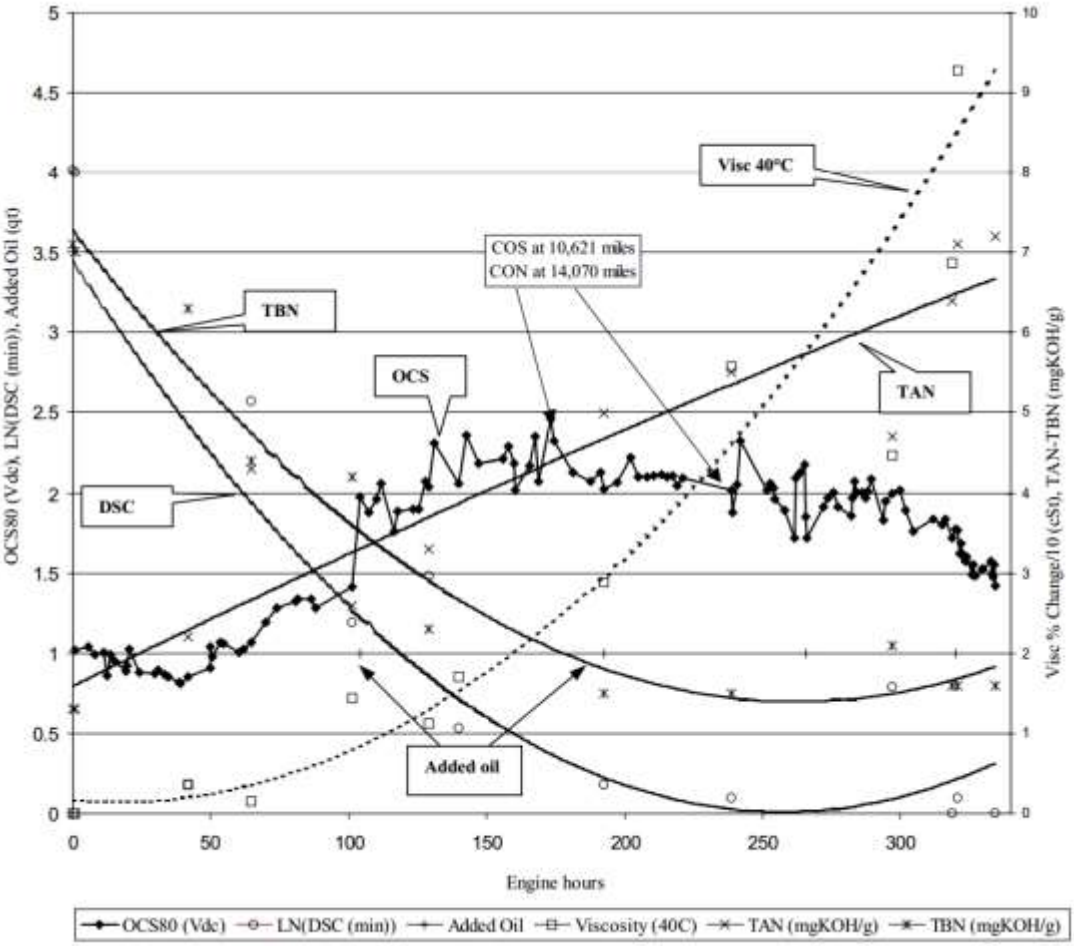


Другая заметная тенденция – ставший в крупных городах основным, рваный ритм движения, резко зависящий от региона эксплуатации: моточасы – в пробках, типичные 400 моточасов движения, набираются иногда менее чем за 10.000 км, при типично установленных интервалах замены масла 15-20-25 и даже более тысяч км (т.н. общемировая парадигма «Long Life»).



Для оптимизации интервала в таких комплексных условиях используются следующие способы:

1. Лабораторный контроль отработки по параметрам и критериям деградации, при сравнении с эталоном – TAN, TBN, нитрование, окисление и подобные лабораторные критерии.



Минусы подобного подхода для рядовых автовладельцев очевидны: сложно и дорого. Применимо исключительно в единичных случаях, для самых отчаянных энтузиастов.

2. Многофункциональные датчики «качества» масла, основанные на принципе измерения косвенных параметров, например, диэлектрической проницаемости среды, через корреляционную модель все с теми же лаб. параметрами.

   Подобные разработки известны давно, однако массовое внедрение началось примерно в начале 2000-х, пример публикации по этой теме: https://www.jstor.org/stable/44731294

- Engine oil quality

The engine management system evaluates these measurements. With the oil condition sensor, the electrical properties of the engine oil are also determined. These properties alter when the engine oil shows signs of degradation and ageing.

В виду, однако, **выявленной практической их бесполезности**, сегодняшний функционал подобных датчиков сохранен всеми без исключения использующими их компаниями только в рамках отображения температуры и уровня масла:

https://www.hella.com/mining/en/PULS-Oil-Level-Sensor-1377.html

Причины такого решения, скорее всего, кроются в чрезвычайной неоднородности и отсутствии единого стандарта на составы современных синтетических композиций масел, зачастую включающую в себя неопределенно «кислые» эфирные компоненты. (См. фактические значения наших измерений в таблице)

Свежие масла произвольной выборки демонстрируют существенные отличия значения проницаемости среды (отсортировано по убыванию): →

Марка масла	ε [у.е.]	состав	значение ε
Motul 300V old	102	диэстеры	2,6
Motul 300V ester-core	100	неизвестно	
Xenum WRX	97	полиол-эстеры	2,2
Bardahl XTC 5w40	96	неизвестно	
LM 5w50 Molygen	94		
BP Visco 5000	94		
Mobil 1 0W40	94		2,15
Mercedes Original	94		
Mobil 1 0W40 USA	93		
Valvoline	93		
Havoline	93		
Total Quartz 9000	92		
Mobil 3000	92		2,1
BP Visco 3000	91		
Lukoil mineral oil	91		
Aral H.tronic	91		
Agip i-sint	91		
BMW 0W40 LL01	91		
LM 0W40	90		
Shell Helix 5W40	90		2
Motul Spec LL-04	90		
Motul X-CLEAN	90		
Castrol 5W30	90		
Pentosin PentoSuper	90		
Eneos 5-40	89		
Castrol 0W40	89		
Magnatec A1 Ford Spec	89	эстеры?!	
BMW 0W40	89		
BMW 0W30	88		
Castrol EDGE 5W30 USA	88		
Castrol 0W30	88		
Mobil 1 0W30 USA	88		
BMW 5W30	88		
Aral S.Tronic	87		
BP Visco 7000	87		

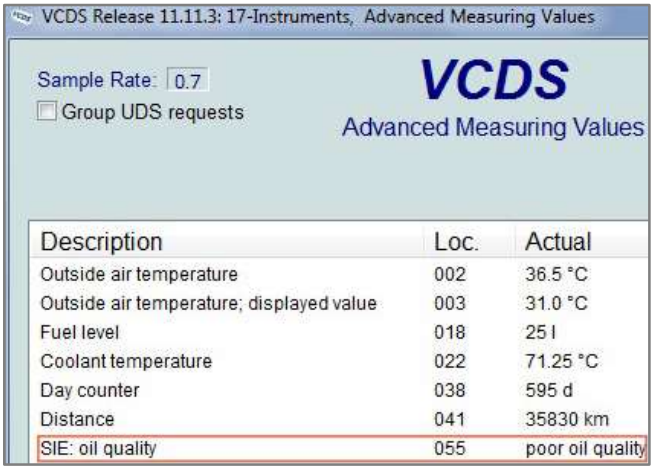
– датчик просто не в состоянии автокалиброваться и работать в условиях подобных «перепадов». На многих т.н. «эфирных» маслах такие датчики отображают ошибку и отказываются оптимизировать интервал – сразу просятся в сервис.





По данной причине, подобный их функционал был полностью выведен из употребления уже на момент 2005-2007 года – незамедлительно после выпуска на рынок.

Легко проверить, что в «мозгах», на уровне внутренней алгоритмизации, доступ к данным оставили, но использование их фактически отсутствует – значение выставлено на определенный порог и больше нигде себя не проявляет. Так, например, на свежем масле (и вне зависимости от масла), ведут себя прошивки VW:



Description	Loc.	Actual
Outside air temperature	002	36.5 °C
Outside air temperature; displayed value	003	31.0 °C
Fuel level	018	25 l
Coolant temperature	022	71.25 °C
Day counter	038	595 d
Distance	041	35830 km
SIE: oil quality	055	poor oil quality

Те редкие пользователи, которые все же докапываются до этого параметра при помощи диагностического оборудования, уже имеют очень отдаленное представление о том, что он на самом деле обозначает и для чего был когда-то предназначен:

https://www.vwvortex.com/threads/resetting-poor-oil-quality-in-vcds.5786704/?__cf_chl_captcha_tk__=pmd_1eYCo76sT3e6ihxDtlp20Ma0UqGWXJmzne0g2.omfQk-1630073931-0-gqNtZGzNAyWjcnBszQil

В общем итоге, у 99,9% производителей гражданской техники все свелось к тому, с чего когда-то и начиналось: тупой счетчик километража, вне контекста реальных условий эксплуатации.

У избранных вяло применяется «математическая модель», привязанная к оборотам. Там интервал корректируется в пределах 10-15%, но вовсе не до такой степени, чтобы нервировать пользователя и вынуждать его задавать вопросы типа «почему мой сосед с такой же машиной ездит к вам в два раза реже, при стоимости ТО в 30.000 рублей».

«Ленивые» же производители просто грубо нормируют интервал в инструкции, получая оптимизацию делением «в лоб», за которым редко кто смотрит и редко учитывает на практике:

Модель автомобиля	Нормальные условия	тяжелые условия
Бензин (за исключением Turbo)	15.000 км, или один год	7500 км или 6 месяцев
Бензин Turbo	5000 км или 6 месяцев	2500 км, или три месяца
Дизель автомобиля	5000 км ~ 20000 км, Каждый год или шесть месяцев -	2.500 км ~ 10.000 км, В год - или три месяца

Варьируется в зависимости от модели ※, будь вы обратитесь к руководству подробной информации, пожалуйста свяжитесь с вашим местным магазин Toyota.
Является оценкой только ※. Я призываю ранней замены в ближайшее время.
※ деградированных условий эксплуатации изменения. Моторное масло будет деградировать, естественно, без использования автомобиля.
*** Shibiakondishon условия:** много плохих путешествия дороги, расстояние часто, и частые поездки и взлеты и падения горных

▸オススメの省燃費エンジンオイル

При этом, именно условия движения по городу, как раз-таки и являются тем самым «тяжелым» режимом, которые формально обязывают автолюбителя посещать дилера в два раза чаще (**а это фактическое удвоение стоимости обслуживания).**

Итого, по изложенным выше причинам, абсолютное большинство современных двигателей, еще находящихся на гарантийном периоде, внутри выглядят примерно так:





А чуть дальше гарантийного периода, уже и вот так:



Теперь переходим к причинам.

Для простоты изложения, далее рассматриваются только автомобили с бензиновыми ДВС, хотя в случае с двигателями на тяжелом топливе отличия несущественны.

Здравый смысл и бытовая логика, вкупе с лабораторной практикой, подсказывает нам, что масло заметно темнеет и загрязняется по мере эксплуатации.

Причина проста – современные двигатели имеют высокую степень сжатия, что обуславливает высокие требования к октановому числу. Это, в свою очередь, инвариантно требует применения бензинов, созданных по современной технологии с высоким содержанием ароматики.

В начале действия стандартов (и вне стандартов), ее допускалось около 50%, сейчас уже ближе к 30-35% – но все равно около трети состава конечного продукта – практически без шансов на существенное дальнейшее понижение. Даже наметившиеся последнее время стандарты бензинов типа «евро-6» существенно на ее содержание не повлияют. «Е» – топлива также распространяются с существенным трудом и, прежде всего, в экономически более развитых странах.

Безароматические же прямогонные фракции имеют низкий удельный выход и низкий же «октан». Многие эффективные антидетонаторы анти-же экологичны и уже давно повсеместно запрещены. Дорогостоящий процесс алкилирования в большинстве европейских стран применяется чрезвычайно ограниченно, как побочный продукт малораспространенных в Европе производств.

Сегодня можно утверждать, что раз за последние десятилетия не утвердилось ни одной «чистой» (в смысле эксплуатации) технологии, то уже до самого момента перехода на электродвигатели не появится ничего такого, что можно было бы рассматривать серьезной альтернативой промышленным процессам получения «грязных» высокооктановых топлив типа крекинга и риформинга.

Массового перехода на «чистые» топлива в ближайшем будущем гарантированно не произойдет.

Иными словами, моторные масла в существующих двигателях постепенно (по мере эксплуатации) и неизбежно насыщаются копотью (картерными газами), неизбежно загрязняющими ДВС в ходе эксплуатации. Последствия приведены выше на фотографиях.

Гипотеза: модель старения масла в основе должна содержать исследование процесса насыщения масла продуктами горения.

В качестве вспомогательных фактов, можно использовать сравнительные анализы масел автомобилей на ГБО. Такие масла загрязняются или значительно медленнее (пропан-бутан нефтяного происхождения), или же практически вообще не загрязняются (природный газ).

Объяснение первого факта (само наличие загрязнения) простое и не всегда связано с качеством газа как топлива. Установки с пропан-бутаном всегда битопливные: используют бензин для прогрева (редукторные), мощностного режима (редукторные и безредукторные), да и вообще предполагают (допускают) совместное (попеременное) использование газ/бензин. Всегда идеально чистыми быть не смогут.

Предположив факт «разбавления» масла продуктами горения при практически неизменном объеме, очевидно выходим на предполагаемое изменение плотности продукта, что легко доказуемо как на школьно-бытовом (это масляная отработка в свежем масле, на просвет)…



…кулинарно-бытовом (сравнение массы равного объема):





… и на лабораторном уровнях (лабораторный плотномер):



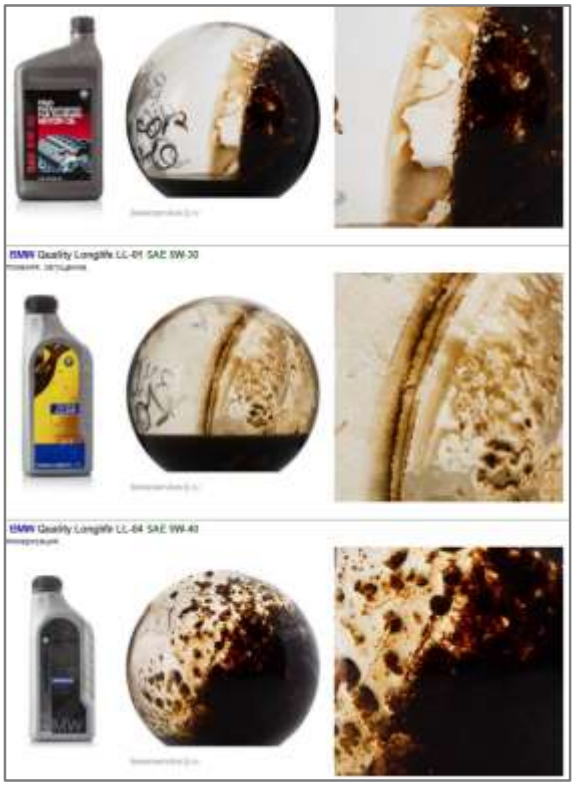
Свежее (фото вверху) и после пробега:



Убедившись, что в масле явно присутствует «примесь», изучим стабильность раствора существующих **свежих** моторных масел, фактической примесью в которых является, в свою очередь, их присадочный пакет, частью которого являются некоторые металлосодержащие (важно: поддающиеся количественному учету по методике ICP) элементы.

Для этого подвергнем сначала **свежее** моторное масло крекингу (пиролизу, термолизу), в результате получим две основных «грязных» и «чистых» группы продуктов:

Условно «грязные»:



Условно «чистые»:



На основе общеизвестной информации о факте низкой полярности (растворяемости) современных массовых синтетических основ, проверим гипотезу о факте эталонной коллоидной стабильности минеральных (и преимущественно минеральных, в обиходе «полусинтетических») продуктов:

Mobil Super 1000 SAE 15W-40





bmwservice.lj.ru



Волга Ойл М-6з.14г SAEW-40





bmwservice.lj.ru



ТНК Magnum MOTOR PLUS SAE 15W-40





bmwservice.lj.ru



Ожидаемо, все без исключения (совокупно протестировано свыше 300 образцов), такие продукты не оставляют ничего, кроме (зависит, главным образом, от рецептуры – типа примененного загустителя) тонкой пленки.

Убедимся, что это именно загуститель:





Далее, убедимся, что группы «грязных» масел условно дифференцируются на подгруппы:

1. Чистое



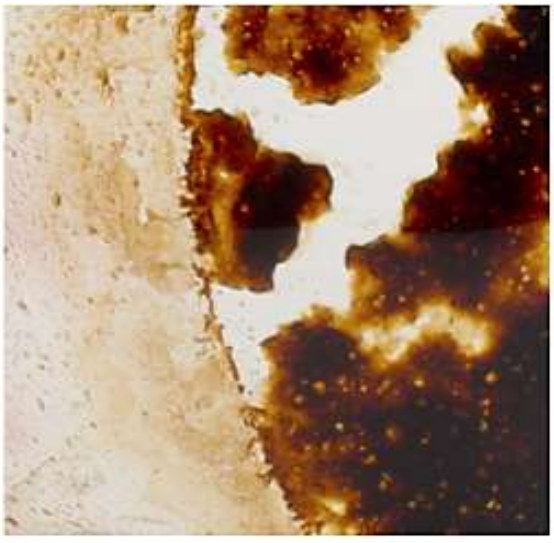
bmwservice.lj.ru



2. Умеренно грязное



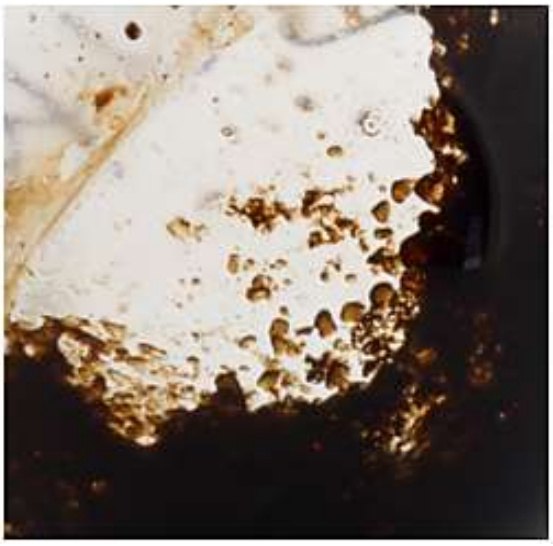
bmwservice.lj.ru



3. Сильно грязное



bmwservice.lj.ru



Окончательно удалив (выпарив) жидкую фазу, получим наглядное представление о фактуре осадка, золе:

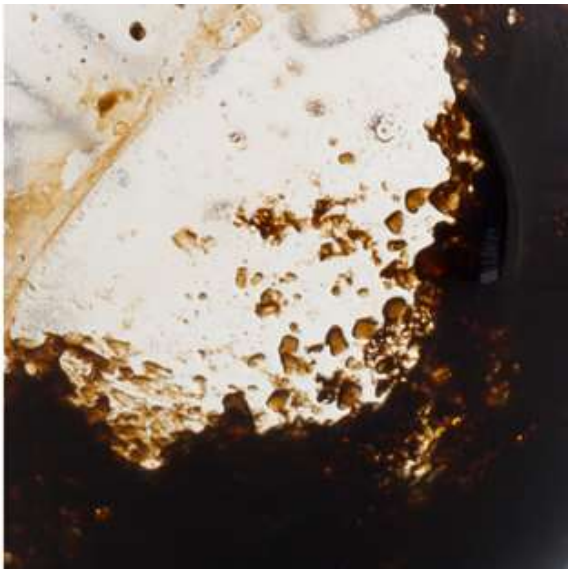


Проверим предположения на элементном анализе для жидкой фазы, сравнив результаты с исходным продуктом:

Хром	Cr	мг/кг	<2	<2
Олово	Sn	мг/кг	<2	<2
Алюминий	Al	мг/кг	<2	<2
Никель	Ni	мг/кг	0	0
Медь	Cu	мг/кг	<2	<2
Свинец	Pb	мг/кг	<2	<2
Молибден	Mo	мг/кг	<2	<2
Ванадий	V	мг/кг	БЫЛО	СТАЛО
Элементы присадок				
Кальций	Ca	мг/кг	2936	1421
Магний	Mg	мг/кг	11	4
Бор	B	мг/кг	63	37
Цинк	Zn	мг/кг	1181	542
Фосфор	P	мг/кг	1017	480
Барий	Ba	мг/кг	0	0
Загрязнение				
Кремний	Si	мг/кг	<2	<2
Калий	K	мг/кг	<2	<2
Натрий	Na	мг/кг	3	<2
Вода		%	-	<0,1
Вода по KF		ppm	-	-
Содержание топлива		%	-	0,00

Масла же с максимальными отложениями теряют практически весь пакет:





bmwservice.lj.ru

Элементы присадок			
Кальций	Ca	мг/кг	80
Магний	Mg	мг/кг	0
Бор	B	мг/кг	28
Цинк	Zn	мг/кг	25
Фосфор	P	мг/кг	95
Барий	Ba	мг/кг	0

Масла «чистые», разумеется, присадочный пакет полностью сохраняют:

Олово	Sn	мг/кг	<2	<2	2	0
Алюминий	Al	мг/кг	5	<2	0	3
Никель	Ni	мг/кг	0	0	2	0
Медь	Cu	мг/кг	<2	<2	0	0
Свинец	Pb	мг/кг	<2	<2	0	0
Молибден	Mo	мг/кг		<2		0
Ванадий	V	мг/кг	0	0	1	0
Элементы присадок						
альций	Ca	мг/кг	2637	3746	7323	2979
агний	Mg	мг/кг	6	16	20	7
ор	B	мг/кг	0	119	384	1
инк	Zn	мг/кг	707	1540	2730	1066
осфор	P	мг/кг	601	1380	3035	1095
рий	Ba	мг/кг	0	0	0	0
грязнение						
емний	Si	мг/кг	<2		<2	4
лий	K	мг/кг	<2	<2	<2	0
грий	Na	мг/кг	3	2	<2	3
да		%	<0,1	<0,1	-	-
да по KF		ppm	-	-	-	-
ержание топлива		%	0,00	0,00	-	-
а		%	-	-	-	-
чество частиц, класс						

Предварительные выводы:

1. Существуют масла «стабильные» и «нестабильные» при крекинге.
2. Стабильность по удержанию загрязнений раствором ожидаемо обеспечивается свойствами исходной полярности базового масла (или, в случае синт.баз. – их композицией, обладающей некоторой «результирующей» полярностью).
3. Важная выявленная особенность группы «нестабильных» масел – **количественная дифференцируемость осадка**, связанная со свойствами исходной полярности композиции.

Предполагая, что продукты горения насыщают (загрязняют) масло постепенно, а контроль их в лаборатории возможен лишь условно, с малой точностью, «просветными» методиками (фотометрии), типа FTIR, с низкой заявленной (и фактической) точностью:

Parameter	Wavenumber (cm^{-1})	Precision	Interferences
Oxidation	Mineral Oil - 1750 Organic Ester - 3540 Phosphate Ester - 815	+/-25%	VI improvers, dispersants Heavy moisture Contamination
Sulfation	1150	+/-25%	Sulfurous additives (ZDDP), sulfur/phosphorus EP, some rust inhibitors)
Nitration	1630	+/-25%	VI improvers, dispersants
Soot	2000	+/-10%	Particle size/density, engine type (for example, make/model)
Water	Mineral Oil - 3400 Organic Ester - 3625	+/-25%	Excessive soot, detergent additives, glycol, antioxidant, ester basestocks severe oxidation, free vs. dissolved water
Glycol	880, 3400, 1040, 1080	+/-50%	Water, antioxidants, oxidation by-products
Fuel	Diesel - 800 Gasoline - 750 Jet Fuel - 795-815	+/-50%	Varying fuel aromaticity, fuel evaporation
Phenol Inhibitors	3650	+/-50%	Moisture, glycol
ZDDP	980	+/-35%	Aromatic impurities, fuel, silica (dirt)

воспользуемся выясненным в п.3 фактом на практике, **подвергнув крекингу уже масла «с пробегом».**

Для этого используем **исходно стабильные** при крекинге моторные масла (на фото жидкая фаза удалена):

Пробег 10000 км:



Пробег 20000 км:



Пробег 30000 км:

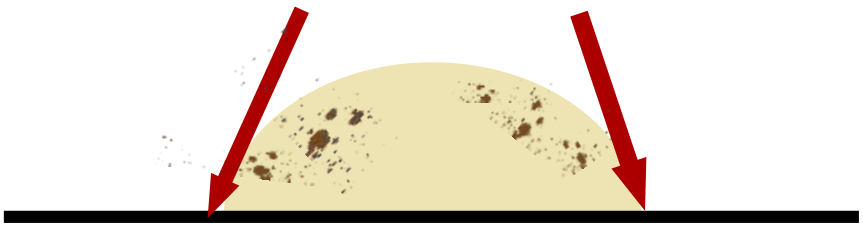


Колба образца «30000 км» визуально выглядит даже более «чистой», так как практически все ее содержимое быстро «вывалилось» в донный осадок, что резко сократило время кипения. Поэтому и копоти на стенках осталось несколько меньше: вся она сразу почти сразу оказалась на дне.

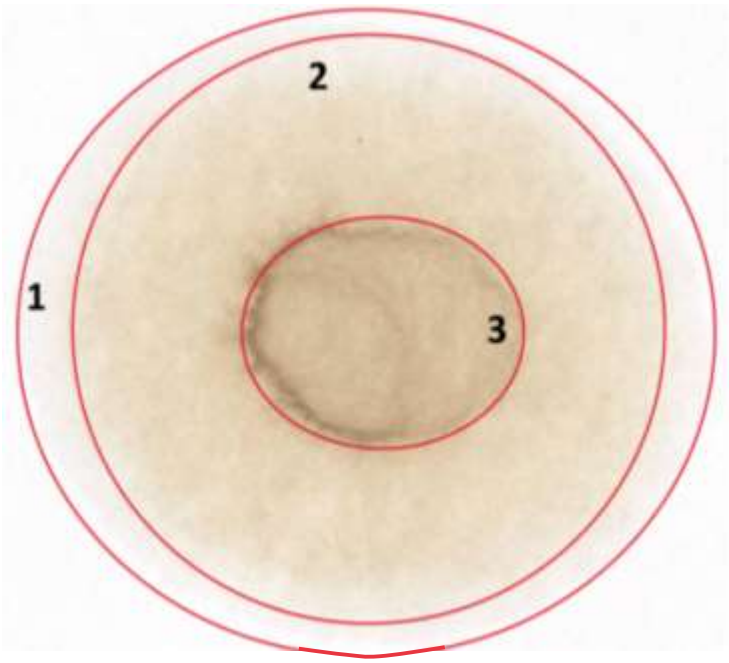


Параллельно с этим, была изучена и доработана условно «бесплатная» методика «капельной пробы», выявленная корреляция с которой, позволяет существенно упростить и удешевить создание практической базы для предлагаемой **Модели старения масла** – лабораторная методика элементного анализа ICP далеко не бесплатна.

Капельная проба способна дифференцировать для наблюдателя несколько контуров, визуально разделяя частицы «пигментации» (загрязнения) масла сразу нескольких категорий.



1. **Первый уровень** – условный фундамент, подложка – своеобразный масляный грунт – бледное, почти что прозрачное пятно: это свежее масло, растекающееся дальше всего и создающее границу пробы. **Как только этот уровень «закрылся», резервы «свежести» у масла закончились.**
2. **Второй уровень** – основа картины, продукты горения: фактический загрязнитель, который постепенно «насыщает» свежий масляный пейзаж. Он растекается медленнее, пропитывает пробу почти до края, создавая тем самым зону контроля и наблюдения за процессом старения масла.
3. **Третий уровень** – «крыша», самые тяжелые фракции. Растекаются плохо. У рабочего масла здесь отлично различим присадочный пакет.



Разработаны следующие последовательные состояния, коррелирующие со степенью загрязнения:



bmwservice.lj.ru

Далее, по результатам исследования, были созданы информативные слайды:




20000км
просвет дна
Элементы присадок
Кальций Ca мг/кг 2269
Магний Mg мг/кг 87
Бор B мг/кг 588
Цинк Zn мг/кг 1325
Фосфор P мг/кг 1117
-90%
Элементы присадок
Кальций Ca мг/кг 146
Магний Mg мг/кг 20
Бор B мг/кг 0
Цинк Zn мг/кг 127
Фосфор P мг/кг 273
bmwservice.lj.ru

30000 км





просвет дна



Элементы присадок			
Кальций	Ca	мг/кг	2185
Магний	Mg	мг/кг	217
Бор	B	мг/кг	53
Цинк	Zn	мг/кг	1539
Фосфор	P	мг/кг	1418

-100%



Элементы присадок			
Кальций	Ca	мг/кг	6
Магний	Mg	мг/кг	0
Бор	B	мг/кг	1
Цинк	Zn	мг/кг	5
Фосфор	P	мг/кг	8



bmwservice.lj.ru

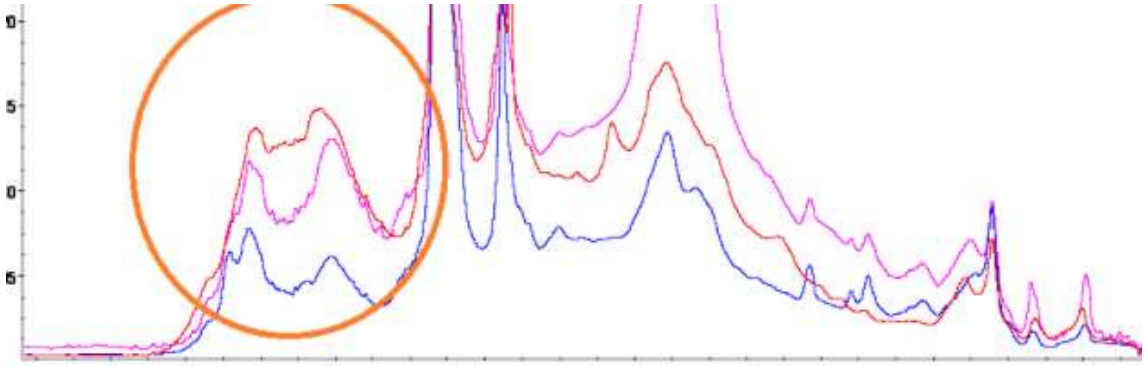
Далее, была подтверждена спектральная идентичность продуктов крекинга масла с пробегом и реальными отложениям в колбе.

На фото образец шлама из реального двигателя (торцевая крышка ГБЦ):



И фото шлама, полученного в результате крекинга «масла с пробегом»:



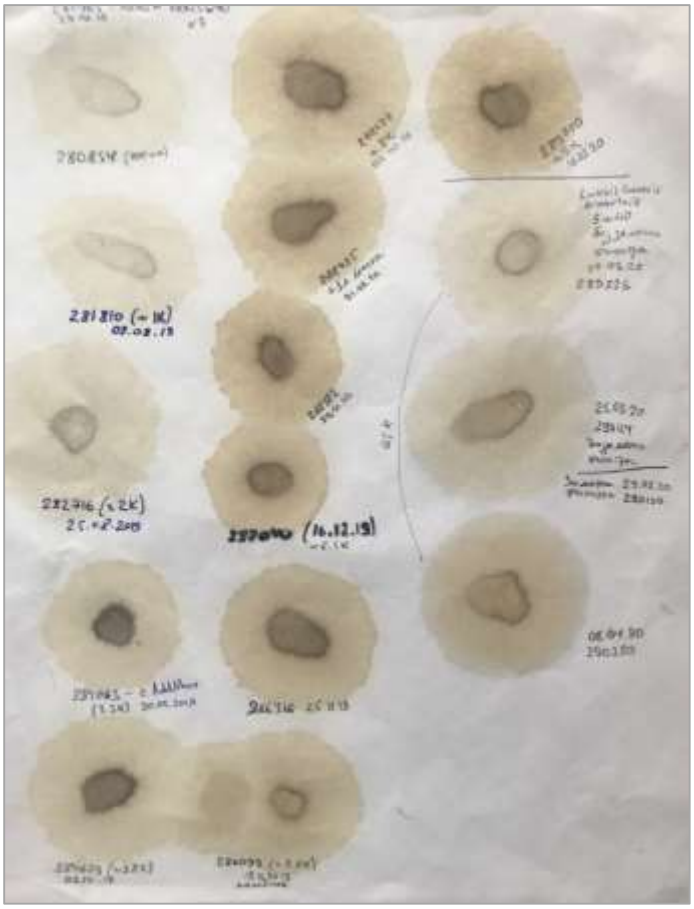


Пики окисления (1610) и нитрования (1720) для двух различно загрязненных образцов (синий и красный) и розовый – шлам из двигателя.

Высота пика нитрования (от продуктов горения), очевидно и безусловно коррелирует с пробегом (отн. «степенью загрязнения»). Высота же пика окисления, для идентичных составов масла, также будет связана с загрязнением.

Далее, вторым этапом работы, была создана база из капельных проб для различных автомобилей (сотни машин), с учетом моточасов (средней скорости), объема картера и т.д.

Пример последовательного накопления проб через каждые 1000 км пробега:



Эта работа, вкупе с исходными вводными критериями, позволяет создавать достаточно точные весовые коэффициенты загрязнения масла, зависящие от реальных факторов эксплуатации автомобилей, влияющих на топливную экономичность/эффективность сгорания топлива, что позволяет с высокой точностью вычислять оптимальный интервал замены масла для конкретного автомобиля и условий его эксплуатации, а также рекомендовать/не рекомендовать конкретные масляные композиции на основе определения запаса свойств их полярности.

Принципиальное отличие от умозрительно схожей оценки старения масел по изучению нитрования (и подобных «просветных», фотометрических методик) и новизна заключается в следующем.

Для фотометрии отработки характерны следующие неустранимые недостатки: **фактическое отсутствие единых лабораторных норм, границ и пределов, что указано и в самом стандарте.**

могут выбираться фиксированными минимальными или максимальными значениями для сравнения с каким-либо результатом измерений, или же могут основываться на скорости изменения измеренного отклика (1). Данная методика описывает распределения, однако не исключает использование сигналов предупреждений или тревоги, основанных на скорости изменения параметров.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 — В данной методике не устанавливаются и не рекомендуются какие-либо пределы для выдачи любых стандартных, предостерегающих, предупреждающих или уведомительных сигналов для любого механизма. Подобные пределы должны устанавливаться на основании инструкций и рекомендаций изготовителя механизмов и групп технического обслуживания.

1.3 Приведенные ниже спектры и профили распределений являются лишь иллюстративными и не должны рассматриваться как рекомендации по применению смазочных материалов.

Неудовлетворительная точность (до +-25% погрешности «самого на себя» для одного и того же семпла).

В случае предлагаемой Методики, предел удержания примесей четко прослеживается **через счетную корреляцию удержания элементов металлов присадочного пакета**, определяемых с точностью, заведомо превосходящей (избыточной) все потребности указанной методики (точность ICP для указанных элементов коллоидного раствора составляет <2-3 ppm, на практике – в пределах 1-2 ppm).

Единственным принципиальным ограничением настоящей Методики является исходная коллоидная стабильность раствора, что является серьезной проблемой для многих современных синтетических композиций, что, однако, **в свою очередь и является основным определяющим критерием при выборе самого масла для реальной практики автомобильной эксплуатации.**

Таким образом, решены сразу две актуальных задачи.

FAQ

1. **Значит ли это, что алгоритмизация этого принципа потенциально имеет достаточную точность, освобождающую меня от любого из предлагаемых способов самостоятельного вычисления выработки масла?!**

   Достаточное количество самостоятельных проб позволяют очень быстро достигнуть точности, заведомо достаточной для любого автолюбителя.

2. **Погрешность все же возможна?!**

   Сама методика устроена таким образом, что зависит исключительно от выбранной точки отсчета – **что лично вы** назначили бы моментом критической утери элементов пакета (загрязнения масла). При создании данной алгоритмизации ориентиром избрано минимально возможное (разумное) загрязнение поршневой группы, так как подразумевается «умная» эксплуатация автомобиля и в расчет не принимается целенаправленное пренебрежение разумными правилами эксплуатации.

3. **Я точно знаю, что в моем двигателе масло загрязняется в среднем быстрее, чем у автомобилей, попавших в сколь угодно широкую «фокус-группу» – мой двигатель спроектирован с ошибкой системы вентиляции.**

   Как и любой другой вид универсальной алгоритмизации, модель не учитывает возможные аномалии. Равно как вы не можете точно предугадать, будет ли перекрытие трассы, или ДТП при сколь угодно точном расчете времени пути вашей программой навигации. В совершенно особых случаях, исключениях из правил вам рекомендуется самостоятельное определение эффективного интервала.

4. **Как можно действовать самостоятельно?**

   Можно всеми тремя изложенными способами, даже больше:

   a) Лабораторным способом, с контролем выпадения пакета и точностью самой методики ICP.
   b) Дополнительно используя лабораторный плотномер.
   c) Методом капельной пробы, не допуская «закрытия» отложениями «первой» зоны. Это, в т.ч. и избранное в алгоритмизации ключевое условие. Грязь «крыши» (зона 2 и 3) не должны затопить «подвал» свежего масла (зона 1). Как только первая зона закрылась – замена!
   d) Методом «крекинга», оценивая визуальное количество отложений.
   e) Комбинируя все предложенные способы.

Совершенно достаточную точность (даже без установления лабораторной корреляции) представляют пункты (c) и (d), как условно почти бесплатные и интуитивно понятные.

bmwservice.lj.ru