

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СКЛОННОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ К ОБРАЗОВАНИЮ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

М.Д. Прокопцова, м.н.с., К.В. Шаталов, к.т.н., Д.А. Уханов, с.н.с., д.т.н., проф.,
ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России»

Показано, что качество современных моторных масел для бензиновых и дизельных двигателей оценивается их склонностью к образованию низкотемпературных отложений на определенных нагрузочно-скоростных и температурных режимах работы. При этом в РФ моторные масла для дизелей по этому показателю не оцениваются. Выполнен анализ отечественных и зарубежных методов оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений в целях разработки требований для создания отечественного моторного метода оценки качества моторных масел, предназначенных для дизельных двигателей.

Надежная и длительная эксплуатация современных автомобильных двигателей во многом зависит от качества применяемых смазочных масел. При этом масло в двигателе подвергается действию высоких температур и давлений при контакте с отработавшими газами, вступает в контакт с различными металлами. В результате происходит образование различного рода отложений на деталях двигателя, которые могут стать причиной снижения эксплуатационной надежности и долговечности двигателей [1].

Из литературных источников известно, что максимальное количество отложений в двигателе внутреннего сгорания образуется на режимах полной мощности, так как именно на этих режимах детали цилиндропоршневой группы и двигателя в целом имеют максимальную температуру [2].

В условиях эксплуатации двигателя работают на переменных режимах. В работе [3] показано, что при движении грузового автомобиля по загородной автомобильной трассе в течение 46,5 % от всего времени работы двигатель развивает мощность ($P_e > 0,5 P_{max}$), что соответствует движению в гору и набору скорости после торможений и движения накатом, 40,5 % времени двигатель работает на режиме малой нагрузки ($P_e < 0,3 P_{max}$) и 13 % времени в режиме частичной нагрузки ($0,3 P_{max} < P_e < 0,5 P_{max}$).

На режимах частичной нагрузки детали двигателя имеют более низкие температуры, однако на этих режимах также активно протекают про-

цессы образования углеродистых отложений, именуемые низкотемпературными, в картере, в клапанной крышке, в каналах системы смазки, на сетке маслоприемника, на фильтрах и других деталях и узлах двигателя [4].

Из данных, полученных в Санкт-Петербургском политехническом университете, следует, что количество низкотемпературных отложений, образованных на режимах частичных и полных нагрузок, сопоставимо. Данные получены при испытаниях 8 различных образцов моторных масел продолжительностью 120 моточасов на следующих режимах: частичные нагрузки — частота вращения коленчатого вала 800 об/мин, полная нагрузка — 3500 об/мин. Низкотемпературные отложения оценивали количественно, взвесив до и после испытаний: шестерню привода масляного насоса, сетку маслоотделителя из клапанной крышки (рис. 1) [5].

Традиционно склонность моторных масел к образованию отложений оценивается по количеству отложений на деталях цилиндропоршневой группы при работе двигателя на режиме полной нагрузки. Но не менее важным является оценка склонности моторных масел к образованию отложений на деталях, находящихся в картере двигателя, образованных при работе двигателя на режиме частичных нагрузок.

Низкотемпературные отложения, образуемые в картере двигателя, способствуют забивке отверстия маслозаборника и закупорке масляных ка-

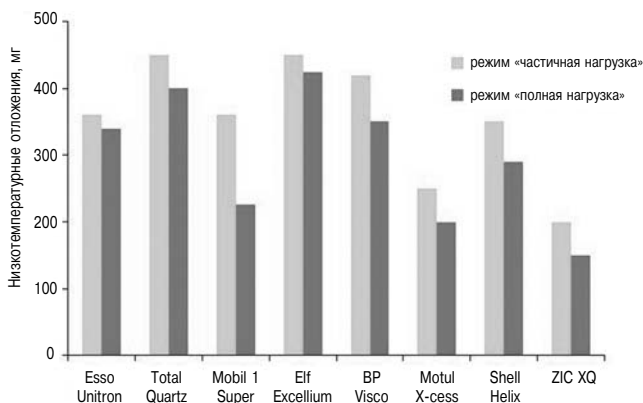


Рис. 1. Зависимость количества низкотемпературных отложений от различных режимов испытания

налов, что приводит к прекращению подачи масла к трущимся деталям двигателя. Отложения в клапанной коробке и на деталях газораспределительного механизма также могут спровоцировать прекращение подачи свежего масла на трущиеся поверхности деталей. Образование низкотемпературных отложений в фильтрах способствует их забивке, что приводит к повышенному загрязнению масла продуктами износа и прочими нерастворимыми веществами. Ухудшение условий смазки вызывает повышенный износ, а в некоторых случаях и задиры деталей двигателя, в первую очередь, вкладышей подшипников и шеек коленчатого вала. Другим отрицательным последствием образования низкотемпературных отложений может стать загрязнение дренажных отверстий маслоотъемных колец и поршня и, как следствие, увеличение расхода масла на угар. По данным НАМИ, на новом двигателе с забитыми прорезями маслоотъемных колец расход масла на угар увеличился в 4,6 раза, а на изношенном — более чем в 6 раз [6].

Таким образом, потенциальная склонность моторных масел к образованию низкотемпературных отложений имеет большую эксплуатационную значимость. Данное свойство моторного масла оценивается только на этапе разработки его состава и технологии производства. При производстве и применении моторного масла склонность к образованию низкотемпературных отложений не оценивается [7]. В настоящее время известны следующие методы, которые используются в РФ и за рубежом для оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений.

1. ГОСТ 17479.1-2015 «Масла моторные. Классификация и обозначение» предусмотрен

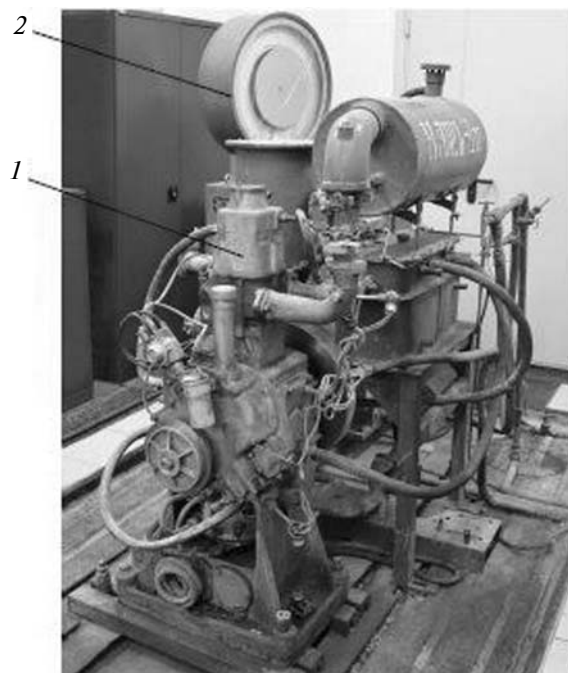


Рис. 2. Установка НАМИ-1М:

1 — одноцилиндровый карбюраторный бензиновый двигатель; 2 — электробалансирная машина типа DS-742-4/Н

метод определения склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений на установке НАМИ-1М (ГОСТ 20994-75) [8].

Установка НАМИ-1М представляет собой одноцилиндровый стационарный бензиновый карбюраторный ДВС, который является отсеком двигателя ЗИЛ-130, тормозного устройства (электробалансирная машина), агрегатов систем охлаждения и топливоподачи, вспомогательного оборудования (рис. 2). Испытания на этой установке проводят в течение 120 часов 8-часовыми

Таблица 1

Режимы испытаний масла на стенде НАМИ-1М

Параметры	Режим испытания		
	«холодный»	«холодный»	«горячий»
Продолжительность испытания, ч	2	3	2
Мощность двигателя, кВт	холостой ход	6,987±0,15	11,32±0,15
Частота вращения коленчатого вала, об/мин	1110±25	1900±25	3000±25
Часовой расход топлива, кг/ч	0,98±0,1	2,7±0,1	4,3±0,1
Угол опережения зажигания, град	22±2	31±1	40±1
Давление в масляной магистрали, МПа	0,3±0,01	0,3±0,01	0,3±0,01
Температура, °С:			
· охлаждающей жидкости	20–25	25±0,2	90±2
· моторного масла	20–25	35±0,2	80±2
· воздуха	20–25	30–35	50±2

Примечание. Прорыв картерных газов не должен превышать на всех режимах 25 л/мин.

Режимы испытания на двигателе ВАЗ-11183

Показатели	Этап		
	1	2	3
Продолжительность, мин	120	75	45
Частота вращения коленчатого вала, об/мин	3000±20	3000±20	1000±20
Нагрузка, Н·м	68±1	68±1	х.х.
Разряжение во впускном коллекторе, кПа (кг/см ²)	26,3–33,8 (0,25–0,35)	26,3–33,8 (0,25–0,35)	х.х.
Температура, °С			
· охлаждающей жидкости на выходе из двигателя	40±2	80±2	30±2
· масла в поддоне двигателя	62±2	92±2	42±2

циклами без долива моторного масла на режимах, приведенных в табл. 1 [8].

Оценочный показатель метода: общее количество отложений в роторе центрифуги.

2. Ассоциация автомобильных инженеров для оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений применяет метод на бензиновом двигателе ВАЗ-11183 [9]. Сущность метода — испытания моторных масел на специально подготовленном бензиновом двигателе ВАЗ-11183 при работе на пониженных тепловых режимах. Режимы испытаний масел на бензиновом двигателе ВАЗ-11183 приведены в табл. 2.

Методы испытаний, существующие в РФ, не могут в полной мере воспроизвести особенности условий работы моторного масла в современных дизелях. Так, например, условия работы моторного масла и образования отложений отличны в бензиновых и дизельных двигателях, а именно

степень сжатия в дизелях почти в два раза выше, чем в бензиновых двигателях, это напрямую сказывается на процессах окисления масел: они протекают значительно быстрее в дизельном двигателе. Кроме того, топливо в цилиндрах дизеля сгорает не полностью, поэтому в дизельных двигателях всегда образуется большое количество продуктов неполного сгорания, воздействующих на масла. За счет высокой степени сжатия в картер из цилиндров прорывается больше газов, которые также окисляют масло.

Методы оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений существующие за рубежом представлены в табл. 4.

3. Метод испытаний Sequence-VG (ASTM D6593) используется для контроля образования низкотемпературных отложений на деталях двигателя в условиях ускоренного проведения испытаний. Метод реализуется на бензиновом четырехтактном V-образном восьмицилиндровом двигателе Ford 4,6 л (рис. 3, 4).

Таблица 3

Оцениваемые параметры метода на двигателе ВАЗ-11183

Оцениваемые параметры	Ед. изм.	Значения параметров для масел групп		
		Б5	Б6	Б7
Продолжительность испытания	ч	180	180	224
Средняя оценка отложений (на пяти деталях), не более	балл	0,5	0,5	0,7
Отложения на корпусе распределительного вала, не более	балл	1,0	1,0	1,0
Отложения на корпусе маслоприемника, не более	балл	1,0	1,0	1,0
Забивка отверстий маслосъемных колец, не более	%	10,0	10,0	10,0
Подвижность поршневых колец, не более	балл	1,0	1,0	1,0
Суммарная оценка поршня, не более	балл	4,0	4,0	5,0
Отложения на юбке поршня, не более	балл	0,5	0,5	0,7
Средний износ кулачков р/вала, не более	мкм	10,0	10,0	10,0
Средний износ поршневых колец, не более:				
· потеря массы (на один поршень)	мг	35	35	35
· увеличение зазора в замке	мкм	55	55	55

**Зарубежные методы оценки склонности моторных масел к образованию
низкотемпературных отложений [10, 11]**

Система классификации моторных масел	Название метода	Тип двигателя, на котором реализован метод
API-ILSAC (Американский Институт Нефти) Классы API для бензиновых двигателей: SN, SM, SJ, SL Классы API для дизельных двигателей: CJ-4, CI-4, CI-4 plus, CH-4	Стандартный метод испытаний автомобильных моторных масел для оценки образования отложений в двигателе внутреннего сгорания с искровым зажиганием при низких температурах в условиях малой нагрузки ASTM D6593 (Sequence-VG) ASTM D6838-04 (2010) Процедура испытания двигателя Cummins M11 HST	Четырехтактный V-образный восьмицилиндровый бензиновый двигатель Ford 4,6 л Шестицилиндровый дизельный двигатель со специальным запрограммированным электронным контроллером образования сажи в картере двигателя Cummins M11HST
ACAE (Ассоциация Европейских Производителей Автомобилей) Класс ACAE для нагруженных дизельных двигателей: E4, E6, E7, E9	Метод CEC-L-99-08: «Оценка смазочных материалов в картере двигателя в отношении низкотемпературных превращений и износа в тяжелых условиях эксплуатации»	2,2-литровый, четырехцилиндровый двигатель OM646 DE22LA с непосредственным впрыском Common Rail
JASO (Японская организация по стандартизации в области автомобилестроения)	Не предусмотрен метод для оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений	—

Испытания проводят на различных скоростных режимах с переменной нагрузкой. Продолжительность испытаний составляет 240 ч. (табл. 5). Перед каждым испытанием осуществляется 90-минутная обкатка, так как каждый раз используется сборка-разборка двигателя. Оценочные по-

казатели метода: общее количество осадков и лаковых отложений.

4. Метод ASTM D6838-04 (2010), с помощью которого можно также оценивать склонность моторных масел для дизельных двигателей к образованию низкотемпературных отложений.

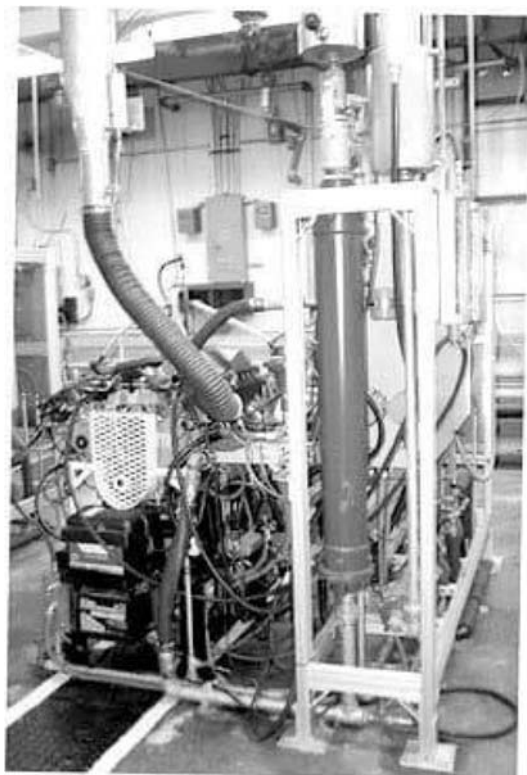


Рис. 3. Общий вид стенда с двигателем Ford



Рис. 4. Система охлаждения стенда с двигателем Ford

Режимы испытаний по методу Sequence – VG (ASTM D6593)

Показатели	Этап		
	1	2	3
Продолжительность, мин	120	75	45
Частота вращения коленчатого вала, об/мин	1200±5	2900±5	700±15
Мощность двигателя, кВт	Не нормируется		1,30±0,2
Разряжение во впускном коллекторе, кПа	69±0,2	66±0,2	Не нормируется
Температура, °С: · охлаждающей жидкости на выходе из двигателя · масла в поддоне двигателя	57±0,5 68±0,5	85±0,5 100±0,5	45±1 45±1
Расход охлаждающей жидкости, л/мин	48±2	Не нормируется	
Давление охлаждающей жидкости, кПа	70±10	70±10	70±10
Температура всасываемого воздуха, °С	30±5	30±5	30±5
Давление всасываемого воздуха, кПа	0,05±0,02	0,05±0,02	0,05±0,02
Прорыв картерных газов, л/мин	Не нормируется	60-70	—
Влажность всасываемого воздуха, г/кг	11,4±0,8	11,4±0,8	11,4±0,8
Противодавление на выпуске, кПа	104±2	107±2	Не нормируется
Расход топлива, кг/мин	Не нормируется		

Сущность метода заключается в испытаниях моторных масел на шестицилиндровом дизельном двигателе Cummins M11HST со специальным запрограммированным электронным контроллером образования сажи. Продолжительность испытаний составляет 200 ч. Режимы испытания приведены в табл. 6.

Испытания проводят на различных скоростных режимах переменной нагрузкой:

- 50 часов сажеобразования при 1800 об/мин;
- 50 часов генерации износа при 1600 об/мин;
- 50 часов сажеобразования при 1800 об/мин;
- 50 часов генерации износа при 1600 об/мин.

Оценочные показатели метода: общее количество отложений, загрязнение поршня, загрязнение масляного фильтра.

5. Метод СЕС-L-99-08 предназначен для оценки характеристик моторного масла в отношении износа, чистоты поршней и отложений в двигателе. Испытания проводят на 4-цилиндровом двигателе OM646 DE22LA объемом 2,2 литра с непосредственным впрыском топлива системой common rail мощностью 110 кВт. Это один из самых современных дизельных двигателей (рис. 5). Обкатка двигателя включает проверку работоспособности двигателя с использованием эталонного масла. Испытания длятся 300 часов, состоят из 300 циклов, включают режим частичной, полной нагрузки и холостого хода. На протяжении испытания отбираются небольшие пробы масла для контроля его качества.

По окончании цикла испытаний проводится визуальная оценка состояния двигателя, после чего — тестовые измерения всех соответствующих деталей.

Оценочные показатели метода: износ цилиндра, загрязнение поршня, отложения в двигателе, залипание колец, износ толкателя, износ подшипника, износ поршневого кольца, износ цепи ГРМ.

Отечественные машиностроительные заводы, такие как ПАО «Автодизель» (Ярославский моторный завод), ПАО «КамАЗ» в своих программах



Рис. 5. Двигатель OM646 DE22LA для метода СЕС-L-99-08

Режимы испытания метода ASTM D6838-04 на двигателе Cummins M11HST

Параметры	Единицы измерения	Этап			
		A	B	C	D
Продолжительность этапа	часы	50	120	75	45
Частота вращения коленчатого вала	об/мин	1800±5	1600±5	1800±5	1600±5
Мощность	кВт	Не нормируется			
Крутящий момент	Н·м	1340–1360	1640–1660	1340–1360	1640–1660
Расход топлива	кг/ч	53±1	53±1	53±1	53±1
Прорыв газов	л/мин	Не нормируется			
Температура охлаждающей жидкости на выходе	°С	88±2	88±2	88±2	88±2
Температура охлаждающей жидкости на входе	°С	Не нормируется			
Разница температур охлаждающей жидкости	°С	макс 7	макс 7	макс 7	макс 7
Температура топлива	°С	40±2	40±2	40±2	40±2
Температура масла в картере	°С	115±2	115±2	115±2	115±2
Температура воздуха на впуске	°С	Не нормируется			
Температура впускного коллектора	°С	46±2	46±2	46±2	46±2
Температура выхлопных газов	°С	Не нормируется			
Давление топлива	кПа	Не нормируется			
Давление масла в картере	кПа	Не нормируется			
Перепад давления в масляном фильтре	кПа	Не нормируется			
Давление в системе охлаждения	кПа	от 99 до 107	от 99 до 107	от 99 до 107	от 99 до 107
Давление во впускном коллекторе	кПа·абс	Не нормируется			
Давление выхлопных газов	кПа·абс	107±1	107±1	107±1	107±1
Давление в картере	кПа	Не нормируется			
Давление воздуха на впуске	кПа·абс	Не нормируется			

оценки качества моторного масла не предусматривают оценку склонности масел к образованию низкотемпературных отложений на деталях дизельных двигателей. Машиностроительный завод АО «АвтоВАЗ» оценивает склонность моторных масел к образованию низкотемпературных отложений на бензиновом двигателе ВАЗ-11183 методом, описанным выше.

Таким образом, в настоящее время существуют два отечественных метода оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений — ГОСТ 20994 и метод испытаний на двигателе ВАЗ-11183. Однако эти методы предусмотрены только для бензиновых двигателей. В отличие от российских производителей, за рубежом осуществляется комплексная оценка

склонности моторных масел к образованию высоко- и низкотемпературных отложений.

В результате проведенного анализа существующих методов оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений выявлены общие характерные особенности этих методов: длительная продолжительность испытаний от 120 до 300 часов, проведение испытаний на различных скоростных режимах работы двигателя с переменной нагрузкой, при этом режимы изменяются циклично. Оценочные показатели методов варьируются в зависимости от типа двигателя и места, где отложения накапливаются более интенсивно. Оценочными показателями методов являются: общее количество низкотемпературных отложений, образованных

в центрифуге, на масляном фильтре, на поверхности распределительного вала и на корпусе маслоприемника.

Анализ существующих методов испытаний позволяет сформулировать исходные требования к разработке нового отечественного метода испытаний моторных масел:

➤ проведение испытаний на полноразмерном дизельном двигателе;

➤ проведение испытаний на различных скоростных режимах с переменной нагрузкой в течение длительного времени >120 ч;

➤ оценочный показатель метода: количество отложений на масляном фильтре.

На основании этих требований в ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России» в 2020–2021 гг. планируется разработка метода оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений для дизельных двигателей.

Литература

1. Венцель С.В. Применение смазочных масел в автомобильных и тракторных двигателях. М. : Химия, 1969. 228 с.

2. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 472 с.

3. Экспериментально-теоретические исследования по обоснованию направлений создания топлив и масел, а также методов оценки и прогнозирования их эксплуатационных свойств для обеспечения надежности современных и перспективных силовых установок ВВТ в условиях Арктики и Крайнего Севера: отчет о научно-исследовательской работ (промежуточ.), шифр «Морок-А» / Московский государственный технический

университет им. Н.Э. Баумана; рук. Онищенко Д.О. М., 2020. 119 с.

4. Гришин Н.Н., Серeda В.В. Энциклопедия химмотологии. М. : Изд-во «Перо», 2016. 960 с.

5. Шабанов А.Ю. Очерки современной автохимии. Мифы или реальность. СПб. : Иван Федоров, 2004. 216 с.

6. Разработка метода оценки склонности масел к образованию низкотемпературных отложений: отчет о научно-исследовательской работе (заключительный). Инв. № 0284.0028677 / Центральный научно-исследовательский дизельный институт. Л., 1983. 119 с.

7. Обоснование режимов испытаний дизеля для оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений / Д.А. Уханов, И.Ф. Адгамов, К.В. Шаталов, М.Д. Прокопцова // Эксплуатация автотракторной и сельскохозяйственной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы: сборник статей IV Международной НПК. Пенза: РИО ПГАУ, 2019. С. 132–137.

8. ГОСТ 20994–75. Масла моторные. Метод оценки склонности масел к образованию низкотемпературных отложений. Введ. 1976–07–01. М. : Изд-во стандартов, 1975. 19 с.

9. СТО 31697153-ААИ005–2019 Метод оценки склонности масел к образованию низкотемпературных отложений и противоиных свойств, соответствие классам Б5, Б6, Б7.

10. ASTM 6593–2018 Standard Test Method for Evaluation of Automotive Engine Oils for Inhibition of Deposit Formation in a Spark-Ignition Internal Combustion Engine Fueled with Gasoline and Operated Under Low-Temperature, Light-Duty Conditions (Стандартный метод испытаний автомобильных моторных масел для оценки образования отложений в двигателе внутреннего сгорания с искровым зажиганием при низких температурах в условиях малой нагрузки).

11. ASTM D6838–04 (2010). Cummins M11 HST Test Procedure (Процедура испытания двигателя Cummins M11 HST).