

А.В. Лаушкин, А.А. Хазиев

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЯ ЩЕЛОЧНОГО ЧИСЛА МОТОРНОГО МАСЛА ПРИ РАБОТЕ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

Рассмотрены процессы образования сернистой кислоты при сгорании топлива, попадания кислоты в картер двигателя и нейтрализации кислоты моторным маслом.

Ключевые слова: моторное масло, сернистая кислота, щелочное число, нейтрализация кислоты.

A.V. Laushkin, A.A. Khaziev

Moscow State Automobile and Road Technical University,
Moscow, Russian Federation

THEORETICAL ASPECTS OF CHANGING TBN OF MOTOR OIL IN THE PROCESS OF AUTOMOBILE TRANSPORT EXPLOITATION

In this article there were considered processes of formation of sulphurous acid during burning of fuel, ingress of acid into crankcase and neutralization of acid by motor oil.

Keywords: motor oil, sulphurous acid, TBN, neutralization of acid.

Введение

В последнее время в зимний период эксплуатации автомобилей участились случаи внезапной потери работоспособности моторного масла и, зачастую, силового агрегата из-за значительного изменения свойств смазочного материала.

Анализ моторных масел, отобранных из системы смазки неисправных двигателей, проведенный в испытательной лаборатории МАДИ-ХИМ, свидетельствует, что в смазочных материалах имеются значительные отклонения следующих показателей:

- 1) изменение кинематической вязкости;
- 2) снижение щелочного числа;
- 3) рост кислотного числа;
- 4) снижение температуры вспышки в открытом тигле;

- 5) наличие воды;
- 6) снижение объемной доли присадок;
- 7) присутствие большого количества продуктов износа деталей двигателя.

Специалистами кафедры эксплуатации автомобильного транспорта и автосервиса МАДИ и испытательной лаборатории МАДИ-ХИМ на основании проведенных исследований было установлено, что изменение свойств моторных масел связано в большей степени с качеством используемого автомобильного топлива [1, 2]. Резкое изменение вязкости моторного масла, сопровождающееся потерей текучести смазочного материала в области положительных температур, является основной причиной снижения (и потери) ресурса двигателя и происходит вследствие попадания в масло автомобильного топлива.

При этом одновременно происходят процессы снижения вязкости смазочного материала, окисления присадок масла, испарения бензина из масла, накопления низкотемпературного шлама, который образуется в двигателе в условиях низких температур работы силового агрегата при взаимодействии картерных газов, содержащих остатки топлива и воды с маслом, и другие процессы.

Результатом этих процессов является ускоренное срабатывание присадок, ухудшение свойств самого смазочного материала, проявляющееся в снижении щелочного и росте кислотного числа, повышении плотности и температуры застывания моторного масла.

Снижение щелочного числа связывают, как правило, с попаданием в масло кислот, образующихся при сгорании содержащихся в топливе соединений серы. Российские нефти богаты серой, которая влияет на качество получаемых нефтепродуктов, и требуют дополнительных технологических операций по ее удалению.

Так, при сгорании серы, содержащейся в автомобильном топливе, образуется сернистый ангидрид, который токсичен, может вызвать отравление человека, воздействует на окружающую среду и является причиной в том числе образования кислотных дождей.

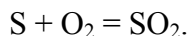
Технический регламент таможенного союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» предусматривает поэтапное снижение содержания серы в автомобильном топливе (таблица).

**Содержание серы в автомобильных топливах в соответствии
с техническим регламентом таможенного союза, мг/кг
(извлечение)**

Наименование показателя	Экологические классы			
	К2	К3	К4	К5
Содержание серы в автомобильном бензине	500	150	50	10
Содержание серы в дизельном топливе	500	350	50	10
Сроки обращения автомобильного топлива на территории РФ	выпуск в обращение и обращение не допускаются	до 31.12.14 г.	до 31.12.15 г.	не ограничен

Образование сернистой кислоты

Реакция горения серы выглядит следующим образом:



Рассчитаем образование диоксида серы при сгорании 1 кг автомобильного топлива экологического класса 4.

Молярные массы соединений, участвующих в реакции, соответственно равны:

$$M(S) = 32 \text{ г/моль},$$

$$M(SO_2) = 32 + 16 \cdot 2 = 64 \text{ г/моль}.$$

Составим пропорцию:

$$M(S) = 32 \text{ г/моль} - M(SO_2) = 64 \text{ г/моль}$$

$$m(S) = 50 \text{ мг} - m(SO_2) = X \text{ мг},$$

тогда $X = 50 \cdot 64 / 32 = 100$ мг, т.е. при сгорании 1 кг автомобильного топлива экологического класса 4 выделяется 100 мг диоксида серы.

Сернистый ангидрид в соединении с водой дает сернистую кислоту:



Учитывая, что в химической реакции участвуют два соединения – SO_2 и H_2O , а при сгорании углеводородного топлива вода образуется в избытке [3], то дальнейший расчет количества выделяющейся кислоты проведем по диоксиду серы:

$$M(\text{SO}_2) = 64 \text{ г/моль} - M(\text{H}_2\text{SO}_3) = 1 \cdot 2 + 32 + 16 \cdot 3 = 82 \text{ г/моль},$$

$$m(\text{SO}_2) = 100 \text{ мг} - m(\text{H}_2\text{SO}_3) = Y \text{ мг},$$

$$Y = 100 \cdot 82 / 64 = 128,125 \text{ мг}.$$

Именно такое удельное количество сернистой кислоты выделится при полном сгорании 1 кг автомобильного топлива экологического класса 4.

Нейтрализация кислоты

Сернистая кислота, попадающая в масло, нейтрализуется пакетом присадок моторного масла. Каждое соединение будет взаимодействовать с кислотой по-разному. Для сравнения нейтрализующей способности различных масел используется показатель «число нейтрализации», или, иначе, «общее щелочное число». При его определении в лабораторных условиях масло искусственно окисляется и количество кислоты, затраченное на титрование, пересчитывается в эквивалентную щелочь – KOH.

По реакции нейтрализации $\text{H}_2\text{SO}_3 + 2\text{KOH} = \text{K}_2\text{SO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ рассчитаем, сколько эквивалентной щелочи необходимо для нейтрализации одного грамма сернистой кислоты:

$$M(\text{H}_2\text{SO}_3) = 82 \text{ г/моль} - 2 M(\text{KOH}) = 2 \cdot (39 + 16 + 1) = 112 \text{ г/моль},$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_3) = 1 \text{ г} - m(\text{KOH}) = Z \text{ г},$$

тогда на нейтрализацию 1 г условно взятой H_2SO_3 потребуется:

$$Z = 1 \cdot 112 / 82 = 1,366 \text{ г KOH}.$$

Процессы нейтрализации в условиях работы моторного масла

Не вся кислота, которая образуется при сгорании автомобильного топлива, попадает в моторное масло и, соответственно, вызывает его окисление. Большая ее часть выходит с отработанными газами в систему нейтрализации. По результатам ранее проведенных исследований, на максимальных оборотах двигателя под нагрузкой при расходе топлива 20 л/ч при сгорании 1 л топлива выделяется 16 м^3 ($16 \cdot 10^3$ л) отработанных газов. Прорыв газов в картер двигателя зависит от многих факторов и составляет от 16 до 28 л/мин [4], что в процентном соотношении составляет 0,3–0,53 %. В таком же соотношении в картер будет попадать сернистая кислота.

Рассчитаем количество сернистой кислоты, попадающей в моторное масло при работе двигателя. Потребление топлива современным автомобилем составляет 5 л на 100 км. За межсервисный интервал

15 000 км такой автомобиль израсходует 750 л (≈ 555 кг) бензина экологического класса 4. При этом выделится $555 \cdot 128,125 = 71\,109,4$ мг, или примерно 71,1 г сернистой кислоты, а в картер попадет:

$$71,1 \cdot (0,3 \dots 0,53) / 100 = (0,213 \dots 0,377) \text{ г H}_2\text{SO}_3.$$

На ее нейтрализацию потребуется:

$$(0,213 \dots 0,377) \cdot 1,366 = (0,291 \dots 0,515) \text{ г KOH}.$$

Если в таком автомобиле залито 4 л ($\approx 3,4$ кг) моторного масла, рассчитанного на малосернистое топливо, т.е. общее щелочное число которого составляет примерно 8 мг KOH / 1 г, то в картере будет находиться 27,2 г эквивалентной щелочи.

При благоприятных условиях эксплуатации автомобиля (качественное автомобильное топливо, правильно подобранное моторное масло, технически исправный двигатель автомобиля, соблюдение межсервисных интервалов технического обслуживания) лишь 1,1–1,9 % общего щелочного числа уходит на нейтрализацию образующейся кислоты. С учетом того, что свойством нейтрализации кислот обладают в основном зольные детергенты, образующаяся кислота практически не повлияет на моющие и другие свойства моторного масла.

Заключение

При использовании некачественного автомобильного топлива, в частности, имеющего отклонение по показателям: содержание серы и содержание фактических смол – процессы, описанные в настоящей статье, будут протекать более интенсивно. Большое количество сернистой кислоты может окислить не только детергентные, но и другие присадки. Тогда масло выйдет из строя значительно раньше срока, что периодически наблюдается в ходе исследований в испытательной лаборатории МАДИ-ХИМ.

Для предотвращения изменения свойств масла следует контролировать условия эксплуатации автомобилей: использовать топлива и масла, соответствующие требованиям производителя автомобиля, соблюдать регламентированную периодичность обслуживания, систематически контролировать уровень и состояние моторного масла в двигателе.

Список литературы

1. Хазиев А.А. Требования к автомобильному топливу и его влияние на отказы современных двигателей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 6 (36). – С. 27–32.

2. Хазиев А.А. Лаушкин А.В., Горина Е.Б. Причины изменения свойств моторного масла // Грузовик. – 2013. – Вып. № 6. – С. 15–16

3. Лаушкин А.В., Хазиев А.А. Причины обводнения моторного масла в эксплуатации // Вестник МАДИ. – 2012. – Вып. № 1(28). – С. 63–67.

4. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов. / Е.С. Кузнецов [и др.]; под ред. Е.С. Кузнецова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 2001. – 535 с.

References

1. Khaziev A.A. Trebovaniia k avtomobil'nomu toplivu i ego vliianie na otkazy sovremennykh dvigatelei [Requirements for motor fuel and its action at the failures of recent engines]. *Transport na al'ternativnom toplive*, 2013, no.6 (36), pp. 27-32.

2. Khaziev A.A. Laushkin A.V., Gorina E.B. Prichiny izmeneniia svoistv motornogo masla [Why does motor oil work out?]. *Gruzovik*, 2013, no. 6, pp. 15-16.

3. Laushkin A.V., Khaziev A.A. Prichiny obvodneniia motornogo masla v ekspluatatsii [Causes water contamination of engine oil in operation]. *Vestnik Vestnik Moskovskogo avtodorozhnogo instituta*, 2012, no. 1(28), pp. 63-67.

4. Kuznetsov E.S. [et al.]. *Tekhnicheskaiia ekspluatatsiia avtomobilei* [Technical exploitation of automobiles]. Moscow: Nauka, 2001, 535 p.

Получено 15.08.2014

Об авторах

Лаушкин Андрей Вячеславович (Москва, Россия) – ведущий инженер лаборатории топлива и масел Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) (125319, Москва, Ленинградский пр., д. 64, e-mail: lav82@mail.ru).

Хазиев Анвар Асхатрович (Москва, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервиса», руководитель испытательной лаборатории МАДИ-ХИМ Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) (125319, Москва, Ленинградский пр., д. 64, e-mail: madi-chim@mail.ru).

About the authors

Laushkin Andrey Viacheslavovich (Moscow, Russian Federation) – Leading engineer of the Laboratory of Fuel and oils, Moscow State Automobile and Road Technical University (64, Leningradsky av., Moscow, 125319, Russian Federation, e-mail: lav82@mail.ru).

Khaziev Anvar Askhatovich (Moscow, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Operation of automobile transport and autoservice, Moscow State Automobile and Road Technical University (64, Leningradsky av., Moscow, 125319, Russian Federation, e-mail: madi-chim@mail.ru).